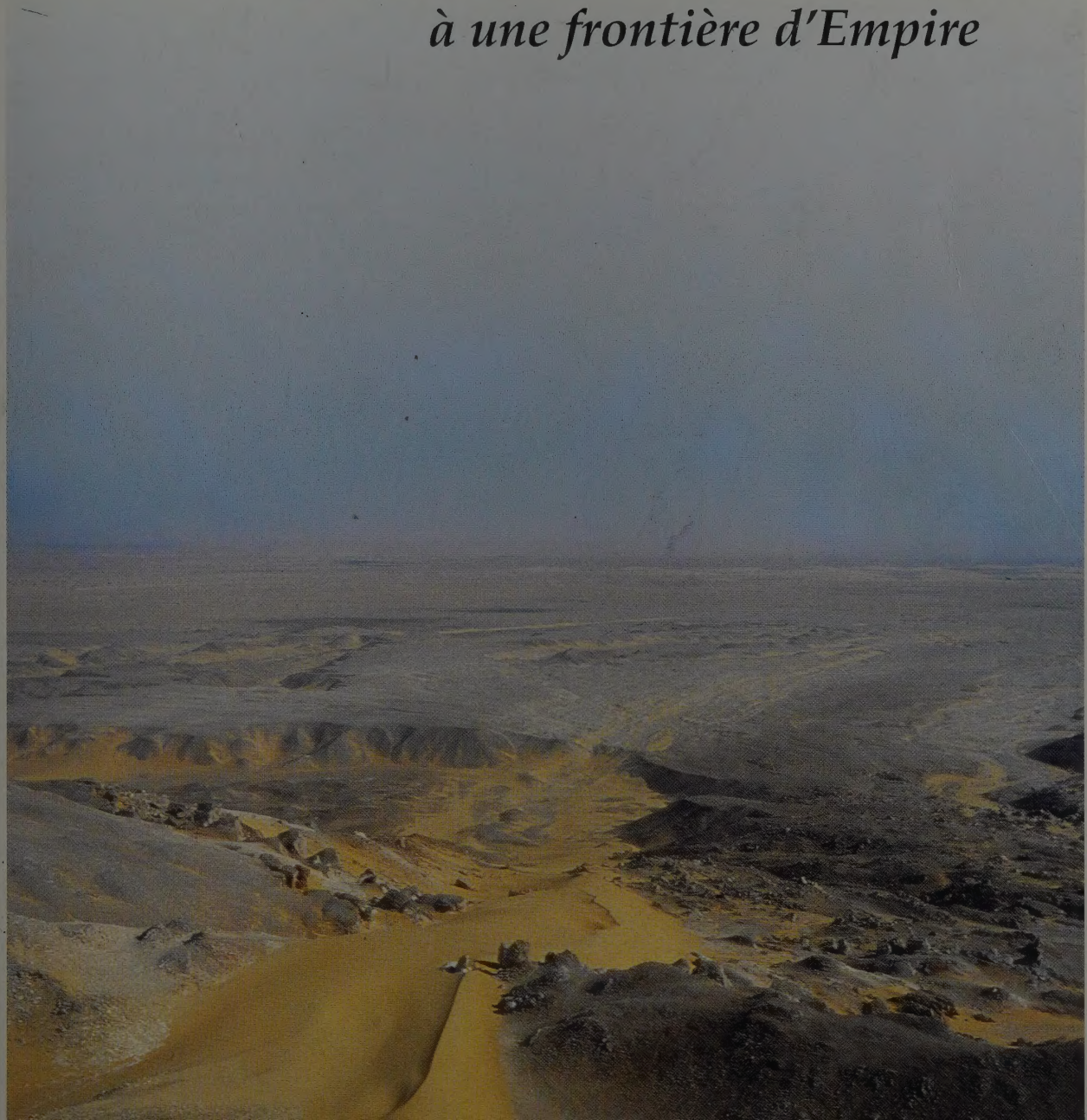
INSTITUT FRANÇAIS D'ARCHÉOLOGIE ORIENTALE

BERNARD BOUSQUET

TELL-DOUCH ET SA RÉGION

Géographie d'une limite de milieu à une frontière d'Empire



S. Bickel

TELL-DOUCH ET SA RÉGION

Géographie d'une limite de milieu à une frontière d'Empire

BERNARD BOUSQUET

TELL-DOUCH ET SA RÉGION

Géographie d'une limite de milieu à une frontière d'Empire

avec la collaboration de
Marc ROBIN, Patrick DELEUZE, Christian BRAUN

INSTITUT FRANÇAIS D'ARCHÉOLOGIE ORIENTALE

DFIFAO 31 – 1996

© INSTITUT FRANÇAIS D'ARCHÉOLOGIE ORIENTALE, LE CAIRE, 1996.
ISBN 2-7247-0180-1 ISSN 0768-2964

AVANT-PROPOS

Val la pena tornare, magari diverso.
Cesare Pavese, *Lavorare stanca*, Paesaggio VI

SUIVRE comment l'homme s'installe présente toujours de l'intérêt et demeure fascinant. L'observer à partir du déploiement d'ouvrages d'irrigation au temps de Rome est le thème de cette étude dont la réalisation a bénéficié de méthodes élaborées dans le bassin oriental de la Méditerranée. Mais dans ce cas, il s'agissait du désert. Tout péril n'était pas absent. Le risque fut réduit grâce à l'équipe qui œuvrait déjà à Kysis. Aussi m'est-il agréable de remercier tous ceux qui ont permis l'accomplissement de ce travail mené à Tell Douch entre 1988 et 1992.

Michel Reddé avec qui fut menée cette découverte du désert. Il sait de quelle profonde gratitude lui sont redevables ces séjours dans la Grande Vallée. Je le remercie de m'avoir associé au chantier de la fouille et d'avoir été cet ami attentif et rigoureux.

Les membres de la mission qui m'accueillirent si chaleureusement : Guy Wagner, papyrologue ; Pascale Ballet, céramologue ; comme Anka Lemaire et Françoise Traunecker, architectes, sans oublier Françoise Dunand et son équipe attachée à la mise au jour de la nécropole. Tous ont été à des degrés divers des guides qui m'ont fait bénéficier de leur connaissance du site.

De même, Christian Braun et Patrick Deleuze, topographes, ainsi que Marc Robin, responsable du traitement des images SPOT et mieux que compagnon des séjours de 1991 et 1992, m'ont aidé à donner échelle et ordre aux détails d'un paysage qui paraissaient, au cours de leur découverte, sans lieu, ni lien dans la foisonnante dissémination de leur répartition.

Mon souvenir amical se tourne également vers Alain Lecler qui eut parfois tant de mérite à photographier les galeries souterraines si difficiles d'accès.

Je remercie aussi Madame Dubois, de l'atelier de cartographie de l'Institut de Géographie, à Nantes, dont le talent a su mettre au net les figures qui illustrent l'étude.

Je ne saurais oublier les ouvriers de la fouille qui m'ont aidé à balayer les parcellaires et à dégager les *qanawat*. Leur expérience de l'irrigation et leur connaissance d'un paysage qui leur est toujours familier, permirent de retrouver cette campagne d'un autre temps.

Enfin ma très vive reconnaissance s'adresse aux deux derniers directeurs de l'IFAO. À Madame Posener-Krieger, qui fit confiance au géographe avec beaucoup de cordialité, et à Nicolas Grimal, son successeur, qui de sa bienveillance attentive et chaleureuse a continué à soutenir ce travail et lui permet d'être publié dans la collection des travaux de l'Institut français d'archéologie orientale. L'un et l'autre ont assuré à cette étude de géographie, par notre accueil au Caire et leur venue sur le terrain, un soutien renouvelé.

En dernier lieu, de ces marges de l'Ancien Monde, qu'il me soit permis de dédier cet ouvrage à Jean Bousquet, qui est le si perspicace décrypteur de son cœur, à Delphes.

INTRODUCTION

À L'INTÉRIEUR du Sahara oriental, Tell-Douch peut être défini comme un *ksar* antique, à la tête d'une campagne irriguée par puits et galeries drainantes souterraines dites *qanat*, (pluriel : *qanawat*). En raison de conditions naturelles favorables, mais fluctuantes au cours du temps, l'analyse de ce milieu impose une approche systémique d'ordre éco-géographique pour comprendre cette implantation et celle des autres sites [1].

SITUATION ET SITE DE TELL-DOUCH

Le site de Douch al-Qala a été inventé par le nantais Fréderic Cailliaud [2], comme l'atteste le texte [3] qu'il a haut gravé, en 1818, sur le jambage droit du second pylône qui ouvre sur le temple hypostyle. La bourgade antique [4] est située à l'ouest du Nil, dans le désert libyque, à l'extrémité sud de la dépression de Kharga [5], (fig. 1 & 1 bis). Dans l'Antiquité, ainsi qu'en témoigne une inscription encore en place, elle eut pour nom Kysis.

Les ruines sont juchées sur une butte de grès nubien (photo 1). Le bloc basculé qui les porte, son emplacement déterminé par un accident tectonique est-ouest, domine à plus de 110 m d'altitude une vaste échancrure [6] établie à 65-60 m. Recouvert par de multiples formations

[1] Le renvoi aux documents se fait dans le texte sous deux formes : « fig. » et un chiffre d'ordre pour tous les documents conçus par l'auteur sauf mention, et « photo » et un chiffre d'ordre, pour les photographies qui, sauf mention, sont de l'auteur. Les références « pl. » suivies d'un chiffre romain renvoient aux planches en couleurs.

[2] M. Chauvet, *Frédéric Cailliaud. Les aventures d'un naturaliste en Égypte et au Soudan*, Saint-Sébastien, 1989, particulièrement p. 14 pour l'évocation de l'oasis de Douch.

[3] Le texte épigraphe est : *Cailliaud de Nantes a été le premier européen à découvrir ce temple. An 1818.*

[4] Cour du temple : 30°43'02" E, 24°34'46" N. Toutes les longitudes et les latitudes citées ont été déterminées par GPS (Geo-Point System), ainsi que certaines altitudes. Les coordonnées géographiques du point situé sur la maison de fouilles sont : 30°42'51" E, 24°34'57" N ; altitude 70 m. Celles du point topographique sur la crête du *tell*, à l'ouest du temple en briques : 30°42'56" E, 24°34'42" N.

[5] Dépression longue de 220 km et large de 40 à 80 km. L.W. Collet, « L'oasis de Kharga dans le désert Libyque », *AnGeo* 198, 1926, p. 528-535.

[6] À Tell-Douch, le grand parcellaire de plaine se situe à 62 m. Son angle sud-ouest est à 30°38'20" E, 24°31'08" N.

superficielles, des dépôts et des nappes d'épandage d'origine météorique, colluviale, fluviale et éolienne (pl. I), cet embayment ou plaine (photo 2) est fermé à l'amont par un escarpement à double corniche qui, visible du site, s'élève à 400 m au Naqb Douch (photo 3). À l'aval, il est barré par un très long cortège de dunes vives (photo 4). Ces *barkhanes* composent la branche orientale du corps principal dénommé Abu Moharik (fig. 1). Né plus au nord, à la hauteur de l'oasis de Bahariya, dans le lit des vents de nord-est, ce long et large et très mobile cordon atteint plus au sud la frontière du Soudan, à 150 km de là [7].

TELL-DOUCH, KSAR SAHARIEN

Annoncé d'abord par ses nécropoles et une tour ruinée, puis par des dépotoirs de céramiques, des scories de four et des ratés de cuisson, le bourg antique perché et sans enceinte apparente couvre au sommet du *tell* une surface de vingt hectares [8]. Les restes archéologiques les plus visibles, mieux qu'au moment de leur découverte par Frédéric Cailliaud, car désensablés par les missions de l'Institut français d'archéologie orientale qui se sont succédé sur le site depuis une quinzaine d'années [9], sont, à l'ouest, un temple en briques anépigraphe et, à l'est, le temple hypostyle, avatar en pierre d'un temple plus ancien. Ce monument quasi intact, hors la cour dont les colonnes se sont écroulées, aménage sa propre enceinte aux dépens de celle d'une grande bâtisse, considérée jusqu'à présent comme un fort [10]. Le vaste quadrilatère de cette autre construction est sans doute un grenier fortifié, transformé en casernement par l'armée romaine, à une époque tardive [11].

La bourgade au bâti dense s'organise en fonction de deux grandes rues nord-sud dont l'une en s'élargissant à son parvis mène au temple en pierre. Sur elles se greffent des ruelles secondaires plus sinueuses, parfois simples venelles sans issue qu'encombrent de petits édicules qui datent une ultime phase d'occupation, à caractère plus villageois qu'urbain. Le site a été abandonné sans destruction au cours du Ve siècle.

Kysis est un *ksar*, comme le Sahara occidental en connaît. Les vestiges le rappellent : l'agglomération et son site perché, la proximité d'un plateau et l'existence de *qanawat* [12], semblables aux *foggaras* du Taidmait [13].

[7] R. Saïd (éd.), *The Geology of Egypt*, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1990, chap. 2, « Geomorphology », p. 11, fig. 2.1, et la description du désert occidental, p. 10-15.

[8] Cf. les plans topographiques de P. Deleuze (IFAO, Le Caire) et de Ch. Braun (Paris).

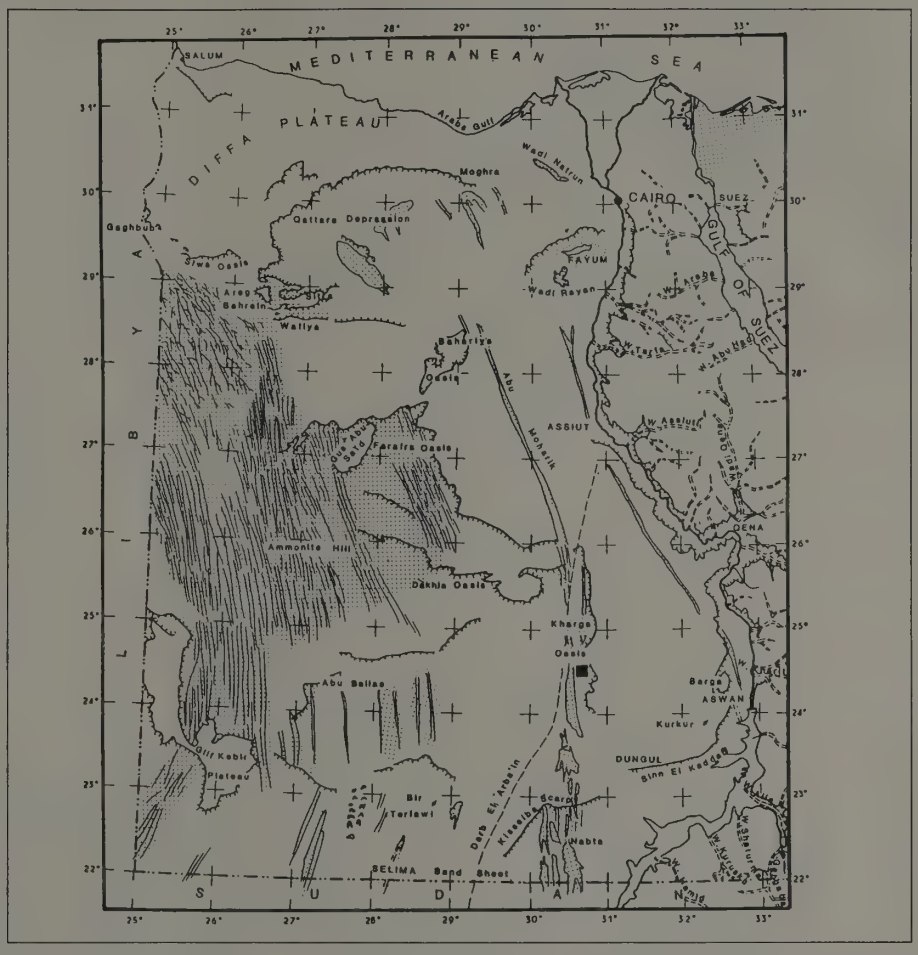
[9] M. Reddé, « Quinze années de recherches françaises à Douch. Vers un premier bilan », *BIFAO* 90, 1990, p. 281-301.

[10] G. Wagner, *Les oasis d'Égypte à l'époque grecque, romaine et byzantine d'après les documents grecs (recherches de papyrologie et d'épigraphie grecques)*, *BiEtud* 100, Le Caire, IFAO, 1987.

[11] M. Reddé, « Une ville romaine dans le désert occidental d'Égypte : Douch » *BSFAC*, 1987, p. 215-220.

[12] B. Bousquet, « Évolution de milieux à l'Holocène : les exemples de Tell-Douch, désert libyque, Égypte, et d'Alésia, France », *Physio-Géo* 22-23, 1991, p. 179-193.

[13] G. Rolland, *Hydrologie du Sahara*, Paris, 1894. D. Moulias, *L'eau dans les oasis sahariennes*, Alger, 1927. N. Marouf, *Lecture de l'espace oasien*, Paris, 1980.



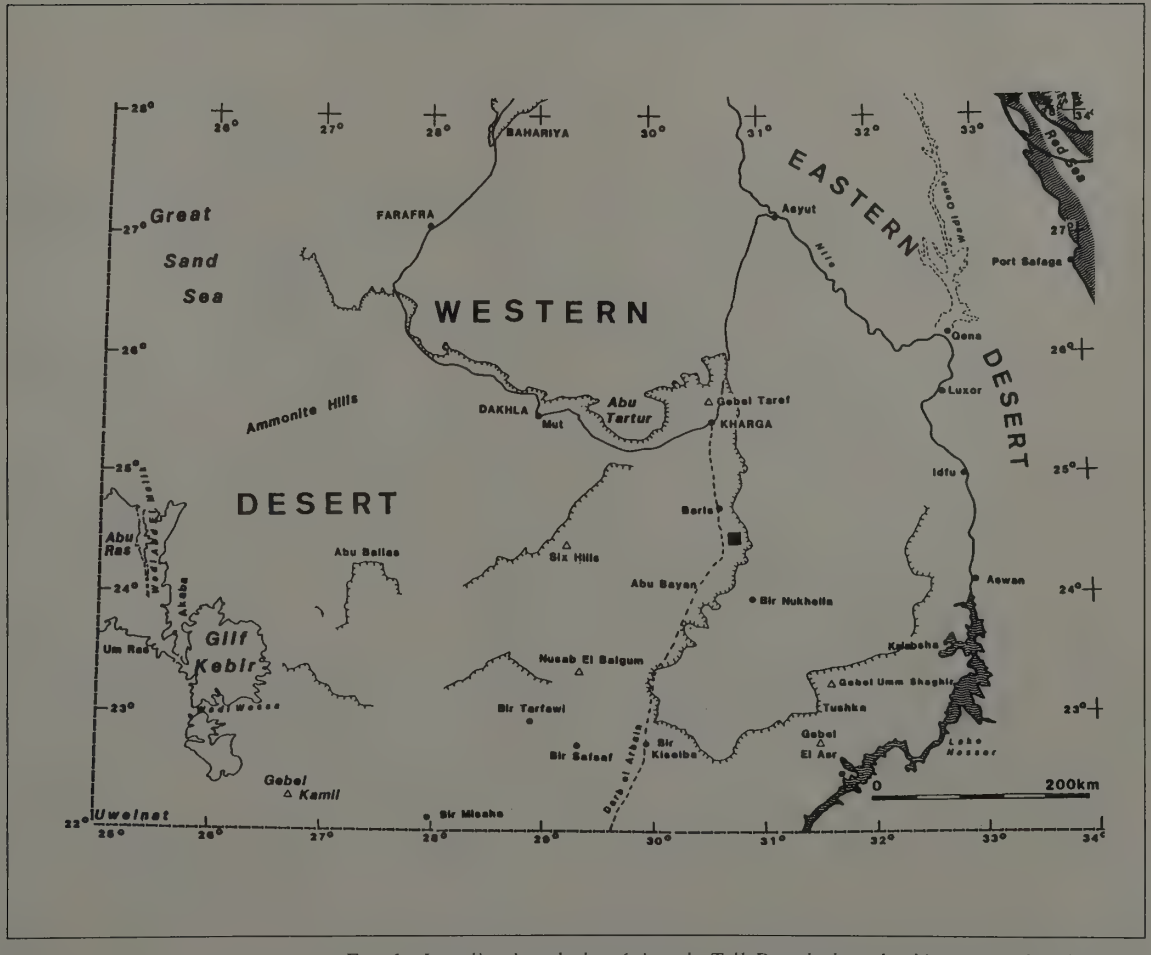


FIG. 1. *Localisation de la région de Tell-Douch dans la dépression de Kharga.*
(Source: R. Saïd, The Geology of Egypt, 1990, p. 11 et p. 250).

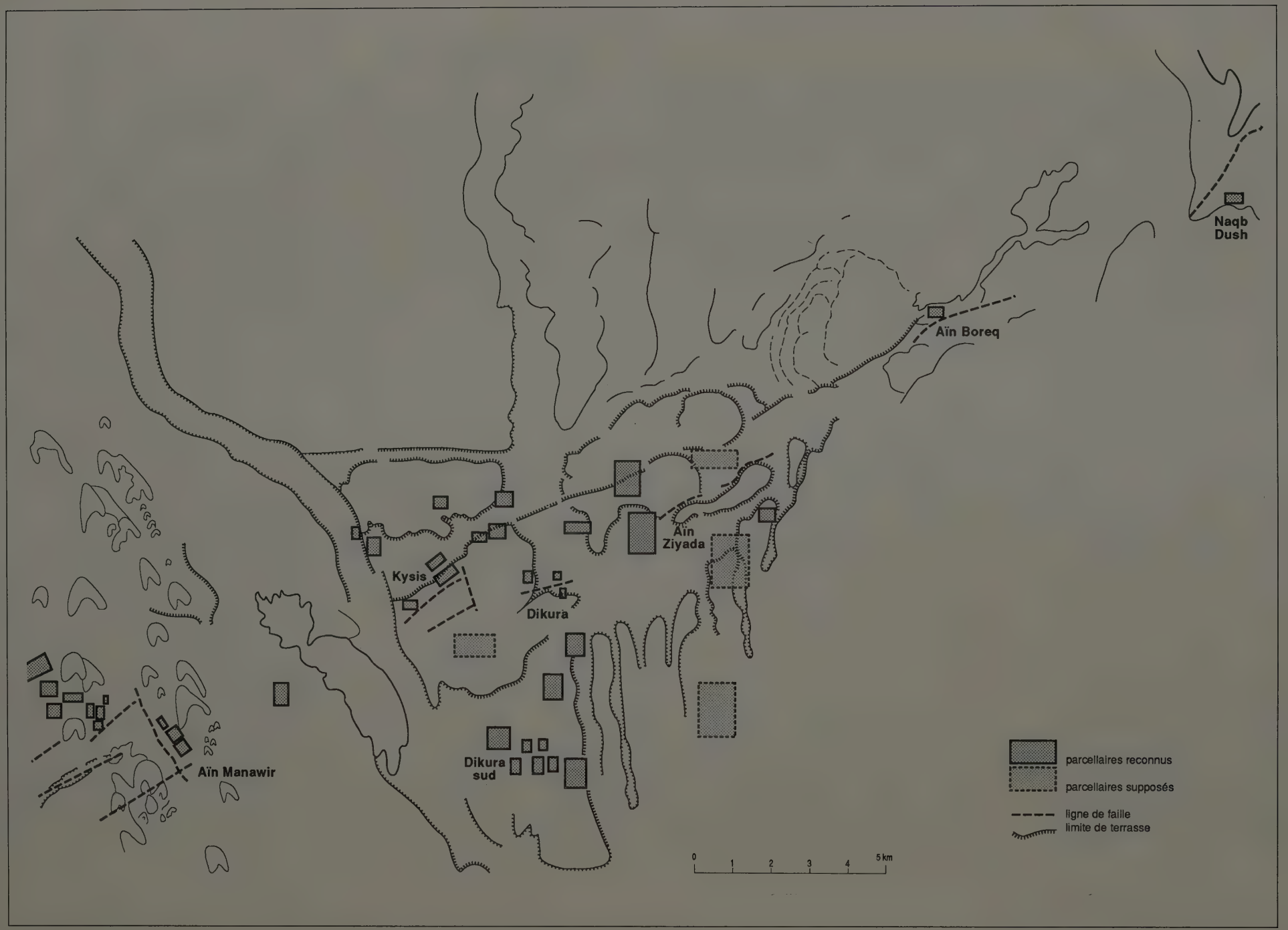


FIG. 1bis. *Région de Tell-Douch. Localisation des parcellaires antiques et des sites archéologiques.*

Son histoire apparaît d'abord essentiellement romaine [14]. La fondation eut lieu certainement à l'époque d'Auguste, mais fut précédée d'une première implantation, à l'époque ptolémaïque, au IIIe siècle avant notre ère [15]. Toutefois, la prospection géomorphologique [16] a permis de découvrir à l'extrémité ouest du *tell*, entre autres sites reconnus, dans l'épaisseur d'une crête de ravine, des foyers de plein vent datés de l'Ancien Empire (fig. 44), entre 2500-2000 avant notre ère, par la céramique qui y a été dégagée [17]. De même, la découverte de *qanawat* pose la question de savoir s'il faut dater leur apparition si au sud, du début de la présence perse, connue à Kharga à partir de 500 av. J-C. [18] ? La durée de ces différentes occupations, dont certaines sont épisodiques, semble liée à la présence de l'eau, plus apparente dans le paysage et plus accessible pour l'homme autrefois qu'aujourd'hui.

SA CAMPAGNE : DES TERROIRS IRRIGUÉS

À l'époque romaine, le développement de Kysis, son aisance matérielle et sa renommée, comme l'attestent le trésor du temple retrouvé dans une des pièces du fort [19] et le mobilier de certaines tombes [20], proviennent peut-être, aux confins méridionaux de l'Empire, de sa position sur la piste menant d'Assiout vers le Darfour, aux oasis de Selima et de Al-Fasher la plus au sud. Cette piste dite des Quarante jours ou Darb al-Arba'in (fig. 1), temps du voyage pour les caravanes de l'Islam [21], recoupe, en effet, l'une de celles qui, suivie en 1988, conduit à partir de Douch ou de Baris, par le plateau calcaire, à la vallée du Nil et à son éventail de routes antiques qui aboutissent par le désert oriental au rivage de la mer Rouge [22].

[14] G. Wagner, *op. cit.*, 1987 ; M. Reddé, *art. cit.*, 1987.

[15] La datation a été obtenue par les charbons de bois contenus dans les briques considérées comme les plus anciennes de la bâtisse, d'après Michel Reddé (renseignement oral).

[16] B. Bousquet, « Paysage et géographie de la région de Dush (I, II, III, IV) », Rapports de missions, inédits, sous la direction de M. Reddé, *Rapport de fouille,* 1988, 1989, 1990, 1991.

[17] P. Ballet, in M. Reddé, *Rapport de fouille*, *op. cit.*, 1989.

[18] G. Posener, *La première domination perse en Égypte*, Le Caire, 1931.

[19] M. Reddé, « Le trésor de Douch », *CRAIBL,* 1989, p. 427-445 ; M. Reddé, « Les dieux mêlés », *FMR* 24, 1990, p. 57-80 ; M. Reddé, *Le trésor de Douch*, *DFIFAO* XXVIII, Le Caire, 1992.

[20] Fr. Dunand, R. Lichtenberg, « Les momies de la nécropole de Douch », *Archeologia* 240, 1988, p. 30-42 ; Fr. Dunand, J.-L. Heim, N. Henein, R. Lichtenberg, *La nécropole de Douch*, *DFIFAO* XXVI, Le Caire, 1992.

[21] C.V. Haynes, « The Darb el Arba'in Desert : a Product of Quaternary Climatic Change », chap. 9, p. 91-117, 22 fig., plus spécialement fig. 9.1, p. 93 in F. El-Baz, T.A. Maxwell (éd.), *Desert Landform of Southwest Egypt : a Basis for Comparison with Mars*, NASA CR 3611, 1982. M. Asher, *La piste des Quarante jours*, Paris, 1993, en particulier p. 103-110, pour un court historique de la piste et pour la description de son actuel état d'abandon.

[22] J.-Cl. Golvin, M. Reddé, « Quelques recherches récentes sur l'archéologie militaire romaine en Égypte », *CRAIBL*, 1986, p. 172-196 ; M. Reddé, Th. Bauzou, « Pistes caravanières de Syrie d'Arabie et d'Égypte : quelques éléments de comparaison », *L'Arabie préislamique et son environnement historique et culturel*, colloque de Strasbourg, travaux du Centre de recherche sur le Proche-Orient et la Grèce antiques, Strasbourg, 1987, p. 485-497 ; M. Reddé, « À l'ouest du Nil : une frontière sans soldats, des soldats sans frontière », *Roman Frontier Studies*, University of Exeter Press, 1989, p. 485-493.

Mais, plus certainement, l'importance de Kysis qui en fit un lieu de pèlerinage reconnu dans l'Empire et un chef-lieu de toparchie [23], découlait-elle de la mise en culture de la dépression comme des piémonts des collines qui, à l'intérieur de l'embayment dit de Baris ou d'Abou Bayan (fig. 3), caractérisent plus particulièrement ce secteur [24].

La découverte de multiples parcellaires (photo 5 et fig. 43) situés à proximité du *tell*, à son pied immédiat et plus loin dans la plaine ainsi qu'autour des autres sites voisins, Aïn Manawir, à l'ouest, Dikura, Aïn Ziyada dit aussi Tell al-Dâbba al-Sharqiyya, à l'est, et, enfin, Aïn Boreq, encore plus à l'est [25], permet d'évaluer l'extension de cette colonisation et de recenser les techniques comme les modes d'irrigation à l'origine de la superficie de ces terroirs, différente de l'étendue plus réduite des finages d'aujourd'hui [26].

Car voisine du *tell*, la petite oasis actuelle de Ezbet Douch, 600 ha pour trois cents personnes, doit son eau à un forage profond de 1000 m. Elle associe à une palmeraie centrale close de murs des petits champs trapus, ombragés et cultivés. Les parcelles en céréales et luzerne ou maïs alternent avec celles de plantes à bulbes, oignons et ail, installées sur des billons que séparent d'étroites rigoles (photo 6). Depuis peu, à sa périphérie, en prolongeant les rigoles de ses chenaux, elle accroît la superficie de ses terres de culture grâce à de nouveaux casiers d'irrigation tracés à même le sable [27].

Reconnu autour de Kysis, le finage de l'Antiquité présente les mêmes structures agraires variées [28] et doit son déploiement à une irrigation conduite soit à partir de puits (photo 7) selon une technique déjà propre aux oasis à cette époque [29], soit à partir de canalisations en terre cuite approvisionnées en eau par des galeries drainantes souterraines, inconnues jusqu'à présent dans ce secteur de la Grande Vallée, mais que la prospection géomorphologique de la zone a retrouvées et mises au jour [30]. Les autres sites s'en trouvent également dotés (fig. 1 bis).

Tell al-Dâbba al-Sharqiyya ou Aïn Ziyada est défini par la présence d'un bourg perché sur un relief semblable à celui de Kysis. Cette petite bourgade dont il ne reste que les murs de ses maisons ensablées et deux temples, chacun érigé sur une butte profilée, irriguait ses champs à partir de *qanawat* et de puits creusés dans la colline ou installés sur son piémont (photo 8 et 9).

Un autre site comparable se trouve à l'ouest d'Ezbet Douch. Aïn Manawir est une proéminente et volumineuse hauteur escaladée par des *barkhanes* (photo 10). Au nord, les habitants des bâtiments alignés à sa base comme ceux du hameau situé plus à l'amont sur la pente, près d'un temple en briques crues [31], cultivaient leurs champs à partir d'un réseau de *qanawat* dont

[23] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[24] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.4, p. 266 : « Geological map of the Kharga area ».

[25] Cf. levers cadastraux des parcellaires par Ch. Braun, P. Deleuze et M. Beuniche.

[26] M. Sadek, « L'irrigation des déserts égyptiens », *Proceedings of the Symposium on Scientific Problems of Land Use in Arid Regions* IV, 1954, p. 174-181.

[27] Cf. images SPOT multispectrale et panchromatique : SPOT 1 HRV, MX 114-301, 19 mars 1988 et SPOT 2, HRV P, 114-301, 28 juillet 1990.

[28] B. Bousquet, « Paysage et géographie de la région de Douch », in M. Reddé, *Rapport de fouille*, 1989.

[29] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[30] B. Bousquet, « Paysage et géographie de la région de Douch », in M. Reddé, *Rapport de fouille*, *op. cit.*, 1989 et 1990 ; M. Reddé, *CRAIBL*, 1989, p. 172-196.

[31] Découvert en novembre 1992 au cours d'une prospection géomorphologique, le bâtiment est peu visible car entièrement ensablé, mais un relevé sommaire de son plan le rend semblable au temple en pierre de Kysis.

les larges tertres à regard composent les alignements aux monticules de déblais les plus remarquables de la région. Il faut leur joindre, à l'est, les parcellaires d'une bâtisse isolée qui, en contrebas du relief, sont en partie recouverts par des *barkhanes*; de même à l'ouest, d'autres vestiges de *qanawat* voient leurs aqueducs disparaître sous les dunes.

Entre Aïn Ziyada et Tell-Douch, découvert et caractérisé par la prospection géomorphologique, le site inédit de Dikura (photo 11) est un seuil bas où d'une façon complexe s'associent puits artésiens naturels et aménagés, citernes à escalier et *qanawat* pour des parcellaires disparus sous les sables. Il partage avec le site suivant le fait qu'aucun habitat permanent n'y a été observé. C'est un terroir en quelque sorte hors site, à l'écart du finage des *tells*.

Aïn Boreq [32] (photo 12) est également proche de l'accident tectonique qui détermine l'emplacement des autres sites. À proximité de l'escarpement du plateau, ce parcellaire sans habitat se situe sur une basse terrasse d'oued. L'eau d'irrigation lui était fournie par des aqueducs qui, traversant en tranchée une lanière de cône-terrasse, s'alimentaient à un puits et à des *qanawat* situés dans la dépression voisine (fig. 35).

Ces deux systèmes d'irrigation, puits et *qanawat*, si différents l'un de l'autre, le premier alimenté par une nappe hydrogéologique à fonctionnement artésien [33], le second par des nappes phréatiques parfois perchées, drainées par gravité [34] relèvent de conditions naturelles complexes et en apparence si antagonistes dans leur alimentation que leur utilisation concomitante, comme la multiplication des équipements hydrauliques qu'elles permettent, paraissent incongrues dans cette zone actuellement hyperaride.

DU PAYSAGE DES TERROIRS AU TERRITOIRE HISTORIQUE

Aussi est-il nécessaire de définir les données du milieu naturel qui, ayant valeur de contraintes mésologiques [35], sont à l'origine de la diversité du paysage. Ces conditions posent la question de l'existence ou non de fluctuations du climat au cours même de l'occupation ancienne des sites, d'autant plus que l'occupation actuelle doit être considérée comme très artificielle puisque maintenue grâce à des techniques plus performantes que celles utilisées à l'époque romaine. Ces autres n'en permettaient pas moins aussi le maintien de petites communautés villageoises, mais n'était-ce pas également d'une façon tout aussi artificielle et précaire ?

[32] La butte témoin à l'aval du parcellaire: 30°46'05"E, 24°36'05"N, et hauteur = 80 m.

[33] Système qu'on pourrait appeler oasien de plaine.

[34] Système qui pourrait être dénommé méditerranéen ou iranien, pour ne pas dire perse, puisqu'il associe obligatoirement un relief et son piémont cultivé et qu'il suppose un climat de type méditerranéen dont la variante sèche, qui justifie l'emploi de l'irrigation, s'étend jusqu'en Afghanistan.

[35] Adjectif du mot milieu. Le terme, inventé par Louis Adolphe Bertillon (1821-1883), désignait une approche où l'écologique s'associait au culturel, cf. A. Berque, *Le sauvage et l'artifice. Le Japonais devant la nature*, Paris, 1986, et plus particulièrement p. 134.

La toparchie de Kysis est située à une limite d'œkoumène. Pour concevoir son développement, on doit faire appel aux données qui définissent son environnement et le milieu géographique de l'ancienne bourgade. De la sorte, il s'agit de considérer non seulement les possibilités fournies par le milieu naturel à cette époque, mais également les facilités introduites par les techniques d'irrigation au même moment et les menaces qui peuvent surgir. De même, comme le cadre de vie, le cadre géopolitique n'est pas non plus à délaisser pour comprendre le maintien de la bourgade aux confins de l'Empire romain. Pour l'établir, une méthode a été privilégiée. Dérivée du concept d'éco-géographie [36], elle associe à des échelles diverses les témoins des différentes façons d'habiter un lieu et un territoire.

Cependant, bien des éléments qui caractérisent l'aménagement du territoire de Kysis ont été détruits par la dynamique du milieu désertique. Le vent a dispersé la terre arable des champs et les apports répétés de sable ont causé l'enfouissement des galeries des *qanawat* (photo 13) et des maisons des agglomérations. De même, la violence des écoulements pourtant rares est allée jusqu'à détruire parfois des portions de parcellaires. Aussi l'observation a-t-elle dû se porter sur des traces ténues et dispersées : levées dégradées des billons, mottes de labour à plat, vannes disloquées des champs, épines des broussailles de leurs clôtures, mêlées au sable des parcelles, autant d'éléments considérés comme des détails à l'intérieur d'un paysage perçu dans son ensemble.

Toutefois, le paysage n'est ni un détail agrandi, ni un assemblage de détails. Il leur donne une signification par delà le particulier qui les définit. Menu reliquat, le détail paysager ne procure pas à l'observateur seulement la satisfaction de préciser, mais associé à d'autres, il fait perdre au finage de Kysis, à nouveau reconnu par ces témoins dispersés, le caractère incognito qu'il avait conservé jusqu'à nos jours. Replacés à la petite échelle du milieu naturel, ces vestiges d'échelle humaine permettent de définir les conditions passées de leur environnement et de fixer l'origine des pratiques antiques de son utilisation. Ils conduisent à comprendre comment était habitée et aménagée cette portion de désert dont les lieux et les terroirs aux marges de l'Ancien Monde subsistent toujours. De plus, à leur échelle, ces vestiges en raison de l'indigence des témoignages qui les vouait à l'oubli, sauvent les sites d'une autre menace, celle d'une trop grande généralisation conceptuelle, nécessaire mais toujours réductrice.

Cette approche attentive aux diverses et fragiles façons d'habiter permet de retrouver la réalité et la matérialité de ce milieu aménagé par l'homme. Les fleurs, les branches et les fruits déposés dans les tombes ont été en effet ramassés dans les champs, cueillis ou coupés aux arbres des jardins dont on sait désormais où ils se situaient, très proches parfois de la nécropole. Également par les plantes nouées en bouquet se retrouve l'association des végétaux présents sur les digues, à la bordure des parcelles et dans la steppe voisine. De même à la suite des textes sur *ostraca* [37] qui arrêtant des comptes de fermage,

[36] Le mot a été proposé par J. Tricart, J. Kilian, *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*, Paris, FM/Hérodote, 1979. Pour notre part, nous associons à ce qui relève de l'écologie, ce qui dépend de l'économie, l'une et l'autre données à l'origine de l'œkoumène, le monde habitable ou rendu tel composant un milieu géographique selon l'expression de Ph. Pinchemel, in *La face de la Terre*, Paris, Armand Colin, 1988.

[37] H. Cuvigny, G. Wagner, *Les ostraca grecs de Douch*, fasc. 1 (nos 1-57) - fasc. 2 (nos 58-183), *DFIFAO* 24, 1-2, Le Caire, 1986-1988.

d'imposition ou de travail l'évoquent, de même la campagne de Kysis reparaît à travers les parcellaires rétablis dans leur arpentage, comme les façons de travailler la terre se précisent à partir des surfaces de leurs champs, retrouvées aplanies ou modelées en billons.

Ces détails font ainsi surgir un territoire historique, au même titre que les monuments, leurs mobiliers et les *ostraca* situent son époque. Donc affectés d'une valeur d'archives similaire, ils décrivent le territoire de la toparchie et permettent d'effectuer comme une visite rétrospective aux champs des oasiens. Par leur intermédiaire, il ne s'agit pas seulement de reconstituer un environnement et son écosystème en déterminant les conditions dont dépendait le milieu aménagé, mais de localiser, dans le paysage, les lieux et les effets de pratiques précises et de retranscrire le projet de ces petites communautés qui s'efforçaient de rendre habitable ce secteur du désert.

Ainsi peut-on expliciter le sous-titre. Il s'agit à la limite de l'Empire romain tracée à l'intérieur du désert de déterminer les facteurs naturels comme de caractériser les paysages liés à la mise en valeur précaire mais réelle de ce secteur. Ce fragment de désert est défini par un relief structural contrasté et un modelé nuancé que retouche aujourd'hui la dynamique éolienne. Ces données permettent de retrouver la géographie de la ressource à l'origine de l'installation des hommes. L'eau devient ainsi le thème récurrent de cette étude attachée à dépeindre cette partie de la dépression de Kharga.

Cette évidence justifie le plan. Il s'agit moins de faire une description exhaustive des sites que de les expliquer en fonction de l'eau qui fut leur facteur d'organisation. Nécessaire à la survie du vivant, l'eau est désormais la grande absente du milieu actuel. Elle le fut beaucoup moins autrefois. Les multiples vestiges matériels de son usage encore inscrits dans le paysage le prouvent, mais, dispersés, ils ne trouvent un sens qu'établis en fonction de l'environnement des lieux et de leur usage.

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE

Les facteurs structuraux à l'origine des réserves en eau

Les conditions structurales sont précisées en premier, afin de trancher de la possibilité d'un patrimoine hydrogéologique accessible ou non à l'homme. Le développement de Kysis en est tributaire. Aussi doit-on détailler les facteurs qui déterminent le volume des réservoirs d'eau. De ce fait faut-il insister sur le dispositif tectonique à l'origine du fonctionnement artésien des nappes, ainsi que sur les faciès des séries lithologiques dont les caractères physiques facilitent la circulation de l'eau et permettent la pratique d'une agriculture irriguée.

DEUXIÈME PARTIE

Les données géomorphologiques, la terre arable, les nappes phréatiques et leurs affleurements

Les formations superficielles sont définies et localisées pour préciser les dynamiques morphoclimatiques actuelles et anciennes à l'origine ou non d'une possible terre arable. Par elles, il s'agit d'expliquer l'abondance de la réserve hydraulique de surface que suppose la confection de ces si nombreux parcellaires, en particulier ceux alimentés par les réseaux des *qanawat*, répartis de part et d'autre des collines en grès, atténuées de limon éolien. Dans ce paysage composé de grandes unités géomorphologiques sont localisés les sites connus, mais aussi caractérisés, ceux probables qui peuvent devenir les objectifs d'une prospection future. La détermination des couvertures détritiques en est la clé, ainsi que leur localisation déterminée à l'aide d'une spatiocarte.

TROISIÈME PARTIE

Le paysage humanisé de Tell Douch et la maîtrise de l'eau

Les installations hydrauliques qui desservent les parcellaires définissent ce qu'était l'eau des terroirs. Elles permettent de mieux comprendre l'usage de l'irrigation pour la production agricole et son rôle pour l'économie de la bourgade. Il faut les considérer comme des moyens capables de maîtriser une ressource capricieuse. Leur terminologie retrouvée et explicitée l'indique. Peut-on aller jusqu'à penser que les techniques utilisées faisaient partie d'un enjeu à l'échelle de Rome ? Sans doute non ; elles permettent toutefois de repérer les facteurs déterminants d'un environnement, à partir de la relation éco-géographique qui lie, pour l'homme, milieu naturel-avantages-menaces et de considérer l'économie de Kysis comme celle d'une exploitation soutenue par la productivité des puits et des *qanawat*. L'écologie rejoint ici l'économie et les équipements utilisés.

De la sorte, les techniques d'irrigation seront d'abord définies. Les installations une fois décrites, leur localisation et leur chronologie établies, seront abordées les caractéristiques relatives aux débits et aux modes d'irrigation. Ensuite, les parcellaires seront répertoriés et classés en types. Ouvrages hydrauliques et parcelles des terroirs forment l'hydrofoncier d'une campagne dont les usages et la production sont aussi en partie révélés par les *ostraca* que livrent les morts-terrains archéologiques du *tell*. Au-delà de la parcelle, le terroir et le territoire conduisent par le changement d'échelle qu'ils imposent vers une géographie plus globale des sites.

Enfin, pour savoir si l'abandon de Kysis est d'origine naturelle ou d'ordre anthropique, s'impose l'analyse des causes à l'origine de la dégradation de ces aménagements, au cours même de l'occupation des lieux. Les réseaux des canalisations commandent l'inertie des parcellaires et les digues de ceinture délimitent des casiers d'inondation de la sorte fixés et figés. Ces espaces de valeur modifient le danger de nature en risques pour l'œkoumène. Il s'agit de connaître également quelles ont été les menaces liées au milieu éco-géographique élaboré par les oasis et comment peuvent s'expliquer la défaillance du système d'irrigation et la fin de l'agriculture irriguée. Comment fut élaborée la maîtrise de l'eau et comment fut-elle perdue ?

CONCLUSION

La toparchie de Kysis

Au terme de cette étude, le sens de la mobilité de ce paysage à caractère écogéographique sera précisé. On peut dire que le temps durant lequel les lieux furent occupés fut une époque de pression croissante des activités humaines. Le milieu naturel en fut atteint. En effet si les échanges entre les différentes unités morphologiques obéissent à des dynamiques naturelles, les interventions humaines y provoquent des ruptures d'équilibre. Le milieu désertique, produit d'une longue évolution et résultat d'une succession d'héritages de divers systèmes morphogéniques, a été touché par l'homme qui a provoqué à son tour une nouvelle évolution.

Au cours de l'occupation des sites, l'action de l'homme a consisté à maîtriser l'écoulement de l'eau. L'espace a donc été rationalisé. La nature a été incorporée à une pratique technique d'ordre culturel. Le paysage devient l'objet d'une stabilité, alors que les formes du moment s'y définissent par des contours de plus en plus diffus aux limites des lits de l'écoulement éolien et de plus en plus sensibles à ses remaniements. Les limites incertaines des formes s'opposent aux frontières figées de l'hydrofoncier. Les menaces se situent au contact entre un milieu naturel intrinsèquement évolutif à long terme et une société aux exigences rigides et fluctuantes à court terme.

PREMIÈRE PARTIE

LES FACTEURS STRUCTURAUX À L'ORIGINE DES RÉSERVES D'EAU

LES NOMBREUX PUITS taris situés dans la plaine témoignent d'une abondance en eau ancienne. Leur présence suppose qu'une nappe artésienne les alimentait. La fouille de certains d'entre eux dans la région de Kharga le suggère [38]. Le secteur de Douch permet d'en apporter la confirmation en raison des facteurs géologiques qui y sont réunis. Mais l'eau pour l'irrigation a été également fournie par des galeries souterraines de drainage. Les nappes qui alimentèrent les *qanawat* sont autres. La structure permet d'établir la distinction qu'il est possible de faire entre ces deux types de gisement hydrique.

1.1 LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOSTRUCTURALES DU PAYSAGE

À l'échelle de la dépression de Kharga, dans le secteur de Douch, le relief est composé d'un plateau calcaire à corniche double et d'une dépression schisto-gréseuse où se situent les petites oasis actuelles. Mais les sites archéologiques sont liés à un trait topographique propre à la plaine de Douch, celui des collines dissymétriques à regard nord dont l'alignement dépend de linéaments tectoniques est-ouest. En effet, repérable sur les images SPOT, le faisceau de faille du Wadi al-Abd est semblable aux accidents situés plus au sud, celui du Gebel Abou Bayan al-Bahari dont la file de collines est visible de Douch, et celui du Gebel Abou Bayan al-Wastani ou al-Gibbli dont les reliefs sont masqués par ceux du précédent.

[38] G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, «The Prehistoric Geography of Kharga Oasis», *GeoJourn* 80/5, 1932, p. 369-409. F. Wendorf, R. Schild, *Prehistory of the Eastern Sahara*, New York, 1980, chap. 4, p. 167-203.

Ces alignements structuraux marquent le paysage et agissent sur l'organisation de son modelé. Ils constituent en effet des obstacles successifs pour les vents du nord (pl. II). Sur les faces au vent, ils provoquent la formation de dunes d'accumulation et entraînent l'ensablement des ruines de Douch comme celles des autres sites. Pour les faces sous le vent, ils permettent l'apparition de cordons longitudinaux progressivement transformés à leur extrémité en *barkhanes*, en particulier au revers des collines d'Aïn Ziyada-Dikura et d'Aïn Manawir, cette dernière en outre étant en partie recouverte par des amas de plus en plus complexes, à l'approche de cet obstacle [39]. Il en résulte le compartimentage de l'embayment de Baris dont les portions mises en culture par l'ancienne Kysis s'inscrivent à l'intérieur d'un secteur topographiquement bien délimité. Par contraste, la fossilisation de ces aménagements par le sable confirme le très récent assèchement de ce secteur où le vent domine et où l'eau s'est faite rare.

Caractéristique des plates-formes sédimentaires au Sahara [40], ce dispositif dépend de facteurs lithologiques et tectoniques dont l'influence s'exerce à toutes les échelles du paysage. On peut, en effet, expliquer en premier lieu l'organisation topographique par l'érosion différentielle en raison de la succession des faciès tendres et résistants qui caractérisent la colonne sédimentaire (fig. 2). Mais, à leur échelle respective, les collines comme la dépression de Kharga ne peuvent être comprises qu'en fonction de la tectonique. D'autant plus que ces deux facteurs structuraux ont toujours été associés au cours de leur propre histoire, comme l'attestent les variations d'épaisseur des séries lithologiques. De ce fait, à l'intérieur de l'embayment de Baris traversé par un linéament décrochant, le relief s'adapte à un découpage tectonique qui l'ajuste à un compartiment dont les limites les plus apparentes expliquent, au nord, le lourd promontoire faillé du Gebel Aïn Tafnis et, au sud, les étroites cloisons tectoniques des Gebel Abou Bayan al-Bahari et al-Wastani. De cet héritage géologique dépendent la répartition des ressources en eau et leur mode de gisement à l'intérieur du volume rocheux. Aussi, les éruptions artésiennes qui, morphologiquement et sédimentologiquement, ponctuent toujours le paysage de Douch de leurs cônes détritiques [41], se sont-elles effectuées en fonction des spécificités du substrat rocheux.

[39] Cf. images SPOT et N.S. Embabi, « Structures of Barchan Dunes at the Karga Oases Depression, the Western Desert, Egypt and a Comparison with Structures of two Aeolian Micro-Forms from Saudi-Arabia », *BSGE* V/43-44, 1970-1971, p. 53-71, fig. 11.1, p. 143 et fig. 11.4, p. 148. C. Drevon, *Télé-analyse des accumulations sableuses dans la plaine de Dush (Égypte)*, mémoire de maîtrise, IGARUN-IMAR, 1991.

[40] P. Birot, *Les régions naturelles du globe*, Paris, Masson, 1970, p. 49. P. Rognon, *Biographie d'un désert*, Paris, Plon, 1989.

[41] Cf. troisième partie, « Les sources artésiennes naturelles ».

1.2 LES FORMATIONS LITHOLOGIQUES À DOUCH ET SES ENVIRONS

Les réserves en eau de cette région dépendent de la lithologie. Le secteur de Douch présente à l'affleurement les plus anciennes formations sédimentaires capables de constituer un aquifère [42].

Les faciès de ce compartiment sont désormais cartographiés [43]. Ils sont aussi connus dans le détail grâce aux études de terrain menées par les géologues égyptiens depuis une vingtaine d'années [44]. À quoi peuvent s'ajouter les observations faites localement sur les sites mêmes, pendant les missions de l'IFAO [45].

Dans le secteur de Douch étendu jusqu'au rebord du plateau, le relief se développe dans une couverture sédimentaire à faible pendage. Les faciès à l'affleurement se situent chronologiquement entre le Crétacé inférieur et l'Éocène inférieur (fin du Secondaire, début du Tertiaire) [46]. Ils sont répartis en fonction des grandes unités topographiques en deux ensembles aux caractéristiques hydrogéologiques différentes pour ne pas dire opposées (fig. 3).

Les faciès de l'embayment sont localement les plus anciens et les moins épais. On peut les regrouper sous l'appellation spécifique de grès de Nubie, car ils en représentent le terme [47].

Il s'agit de la formation Taref (Turonien), grès à faciès deltaïque, et de la formation Quseir (Campanien) sus-jacente, un schiste argilo-gréseux à faciès plus franchement marin.

Les faciès du plateau, les plus épais, les plus marins et les plus récents s'associent selon un passage latéral de faciès qui fait apparaître à la marge orientale d'une masse schisteuse des séries calcaires. Il en résulte la constitution d'un double couple roche dure-roche tendre (RD/RT) à l'origine de l'emmarchement double du Naqb Douch.

De la sorte, cet autre ensemble lithologique regroupe, à la base, la formation Duwi (Campanien-infra Maastrichtien) ; au-dessus, la formation Dakhla (du Maastrichtien au Paléocène), passant latéralement à la formation Kurkur (calcaire brun du Paléocène) ; enfin, en discordance générale, au sommet, la formation Garra (calcaire blanc de l'Éocène inférieur) qui scelle la colonne sédimentaire (fig. 2 & 3).

[42] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, chap. 28 : U. Thorweide, « Nubian Aquifer System », p. 601-611.

[43] Feuille Louxor à 1/1 000 000 et coupure à 1/25 000 reproduite in R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.4, p. 266.

[44] M. El-Hinnawi, A.M. Abdullah, B. Issawi, « Geology of Abu Bayan-Bolaq Strecht, Western Desert, Egypt », *AGSE* 8, 1978, p. 19-50, pour le secteur même de Baris et de ses environs ; B. Issawi, « Geology of Darb el Arba'in, Western Desert, Egypt », *AGSE* 1, 1971, p. 53-92 pour les secteurs plus méridionaux ; l'étude de synthèse à l'échelle du désert libyque est due à M. Hermina, « The surroundings of Kharga, Dakhla and Farafra Oases », partie 3, chap. 14, p. 259-292 in R. Saïd, *op. cit.*, 1990.

[45] Dont B. Bousquet, « Paysage et géographie de la région de Douch », in M. Reddé, *Rapport de fouille*, 1988.

[46] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, tableau 1, p. 263 et fig. 14.3, p. 264.

[47] B. Issawi, *op. cit.*, 1971, p. 57-66, en particulier p. 60 ; M.J. Grolier et P.A. Schultejean, « Geology of the Gilf Kebir Plateau and Vicinity, Western Desert », in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, chap. 14, p. 189-206, et particulièrement p. 192.

FIG. 2. *Lithologie de l'embayment de Baris et de la région de Tell-Douch.*
(sources : in R. SAÏD (éd), 1990, The Geology of Egypt, *ch. 14 [Maurice Hermina], fig. 14.7, 14.10, 14.11 et observations de terrain de l'auteur).*

HAMADA

Tpg.

Formation Gara : calcaire et argile schisteuse (origine marine).

Paléocène/Éocène inférieur = 20 m.

RD/RT corniche et talus de l'escarpement sommital de la hamada.

Tpk.

Formation Kurkur : calcaire et bancs argileux (origine marine).

Paléocène = 40 m.

RD : corniche inférieure de la hamada.

Kud.

Formation Dakhla : série d'argiles schisteuses, discordante sur la formation sous-jacente, épaisse avec de minces lits de calcaires et de grès mal cimentés (origine marine).

Paléocène-Maastrichtien = 100 m.

Talus et replats ou vires.

Tpk/Kud forment le couple RD/RT du front inférieur de la hamada, pseudo-front à strictement parler puisque Tpk est discordant sur Kud.

Kuw.

Formation Douwi : phosphorites.

Campanien-Maastrichtien = < 10 m.

RT : sans rôle morphologique en raison de la faible épaisseur du faciès.

EMBAYMENT DE BARIS ET FOND DE LA DÉPRESSION DE KHARGA

Kuq.

Formation Quseir : argile schisteuse avec des lits de grès et de silice (origine marine), discordante sur la série continentale sous-jacente.

Campanien = 70 m.

Soubassement de l'embayment de Baris. L'érosion sélective d'origine éolienne y dégage des cuvettes fermées de déflation et des talus monoclinaux à revers siliceux sombre. Assez bonne perméabilité, circulation vadose en petit en fonction du feuilletage des faciès argileux.

COLLINES DE L'ALIGNEMENT DE TELL-DOUCH

Kut.

Formation Taref : grès et argiles d'origine fluviatile.

Turonien = 60 m.

Reliefs dissymétriques inégalement hauts, alignés sur un accident tectonique à l'origine de l'affleurement du faciès. Ils ont fixé les sites d'habitat (Tell-Douch, Aïn Ziyada, Aïn Manawir) et des installations hydrauliques (*qanawat* et puits de seuils : Aïn Boreq et Dikura). Réservoir hydrologique pour les nappes superficielles ; fracturation par diaclases à l'origine d'une circulation vadose en grand.

RÉSERVOIR HYDROGÉOLOGIQUE.

Kum.

Formation Maghrabi : argile marine.

Cénomanien = < 10 m.

Couche à l'origine du régime artésien des nappes géologiques inférieures.

Klh.

Formation Six Hills : alternance de séries gréseuses et argileuses d'origine fluviatile.

Jurassique supérieur-Aptien = 230 m.

Réservoir hydrologique.

SOCLE DE LA COUVERTURE SÉDIMENTAIRE.

G.

Granite jeune.

Soubassement à crypto-topographie irrégulière pour la série sédimentaire sus-jacente.

En affleurement par faille sous l'aspect de buttes appartenant aux Gebel Abu Bayan méridionaux.

COMMENTAIRE

La couverture sédimentaire repose sur un socle cristallin. Son épaisseur totale est de 600 m, dans le secteur de l'embayment de Baris / Tell-Douch. Elle est composée d'une série inférieure d'origine continentale et d'une série supérieure d'origine marine, l'une et l'autre d'égale épaisseur.

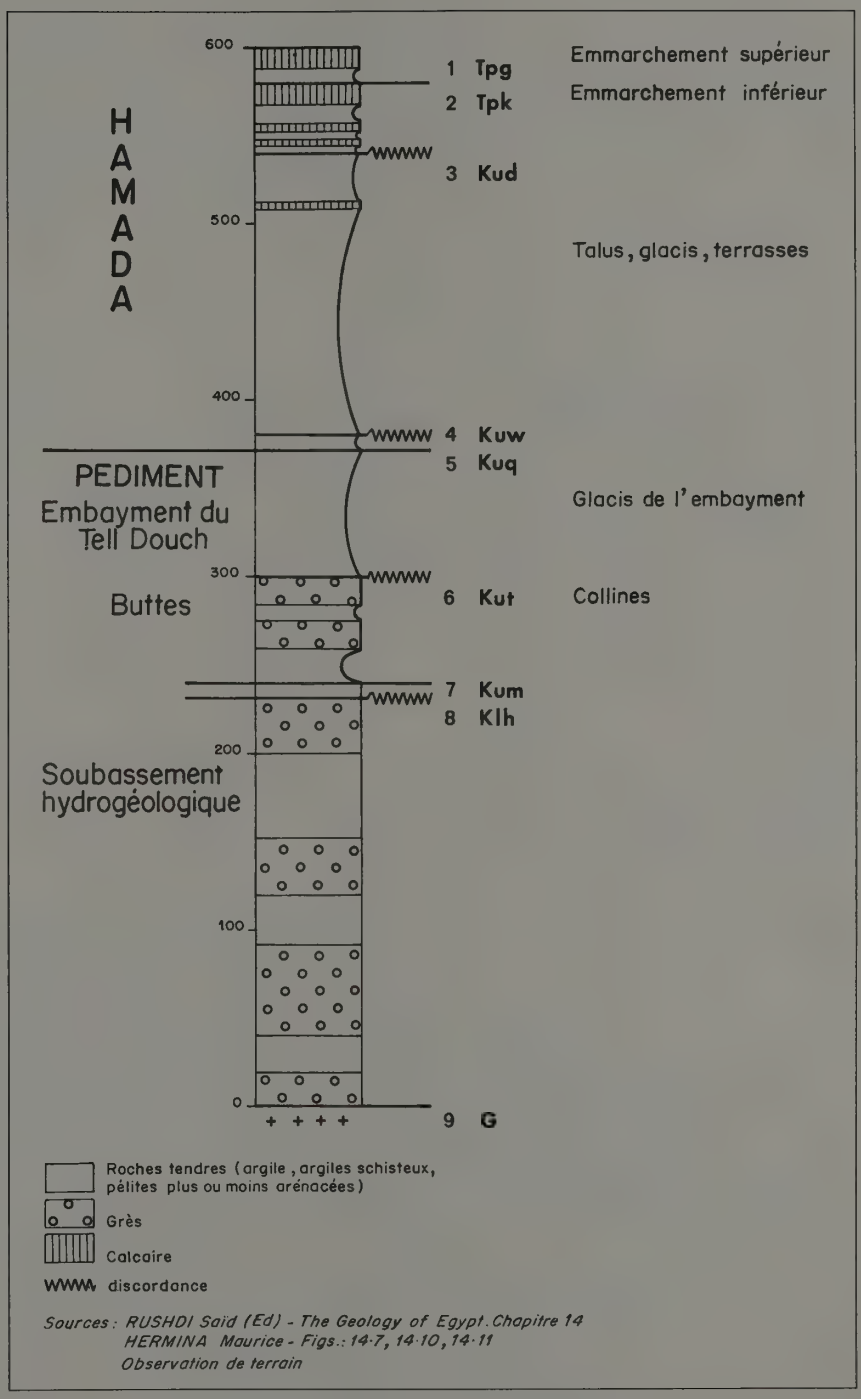
Elle est à l'affleurement sur une épaisseur de 300 m, puisque les glacis de l'embayment sont développés aux dépens de la formation Quseir, faciès de base de la série marine caractérisée par des séries tendres plus épaisses que les séries résistantes essentiellement d'origine calcaire (front de la hamada). Les corniches de la hamada sont déterminées par les calcaires inégalement épais de Gara et Kurkur.

Les talus sont définis par les couches tendres incluses dans ces formations ou appartenant à la formation Dakhla. Des bancs de grès et de calcaires interstratifiés expliquent l'apparition de vires ou de replats. Les séries tendres sont en revanche morphologiquement actives puisqu'elles entraînent l'effondrement par pans des corniches de la hamada.

Les grès de Taref affleurent par faille et définissent la lithologie des buttes tectoniques, réservoir hydrogéologique drainé par les *qanawat* pendant l'Antiquité romaine.

Ce rôle de roche-magasin caractérise également les faciès inférieurs de la série sédimentaire (formation Six Hills essentiellement), dont l'épaisseur est de l'ordre de 300 m.

La formation Maghrabi, des argiles peu épaisses (< 10 m), entraîne la mise sous pression des réservoirs hydrologiques inférieurs (artésianisme).



Sources : RUSHDI Said (Ed) - The Geology of Egypt. Chapitre 14
HERMINA Maurice - Figs.: 14·7, 14·10, 14·11
Observation de terrain

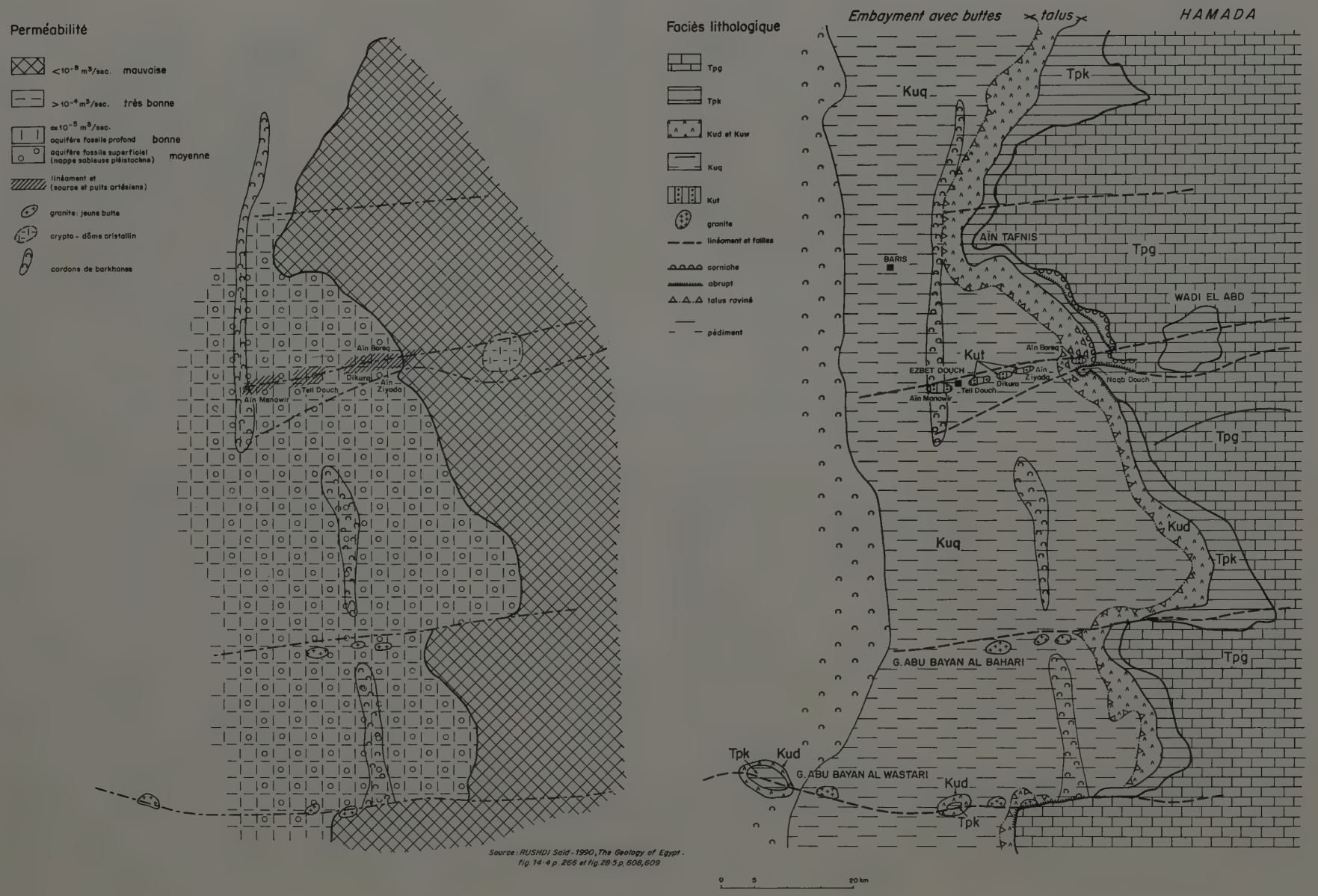


FIG. 3. *Carte géologique et perméabilité de la série sédimentaire.*

1.3 LES FACIÈS DE L'EMBAYMENT

Il faut associer aux faciès à l'affleurement ceux des formations sous-jacentes en raison du rôle qu'ils jouent dans l'hydrogéologie du secteur [48]. Le système des grès de Nubie constitue l'aquifère de base pour l'irrigation des parcellaires.

1.3.1 L'EMBAYMENT

Le plancher de l'embayment est taillé aux dépens de la formation Quseir laquelle termine la série des grès de Nubie, série essentiellement mésozoïque qui par tectonique a été différenciée de celle déjà paléozoïque du Gilf Kébir [49].

Il s'agit, comme on peut l'observer dans les hypogées de la nécropole nord de Kysis qui y sont creusés, d'argilites vertes à grises, très finement litées à nombreux lits interstratifiés de grès sombres et de gypse clair, épais de quelques centimètres. À Baris, il faut y ajouter une couche de 2 m d'argile brun-rouge à l'origine de la teinte des yardangs qu'on y observe, différente de la couleur des buttes profilées limono-argileuses de Douch, plus vert-gris, leur teinte la plus habituelle et la plus courante dans le désert occidental (Arba'in Désert), liée à une formation superficielle récente qui dérive de ces schistes [50].

La formation datée du Campanien présente une épaisseur maximale de 75 m. À Douch, elle ne semble pas dépasser 40 m [51]. Ce matériel de transgression marine, peu résistant, qui sous-tend une topographie plane de glacis, a été ultérieurement disséqué par des oueds venus du Naqb Douch. Certains de ces lourds interfluves lorsqu'ils ne sont pas protégés par un de ces fins lits siliceux interstratifiés mis à nu, sont sensibles à la déflation éolienne et aux processus de la désagrégation mécanique par le sel, l'eau et les variations des températures, autant que dans la région du Gilf Kébir [52].

À Douch, les parois des tombes fournissent de beaux exemples de dislocation de lits par croissance des cristaux de gypse. En surface, la roche peut devenir à ce point pulvérulente sur plusieurs centimètres qu'elle entrave tout déplacement. Cet horizon ameubli, sensible à la déflation éolienne, alimente en limons le sable. Les mêmes sont à l'origine des placages de limon gris, modelés en yardangs, et de la terre arable des terroirs antiques.

[48] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.7, p. 270.

[49] B. Issawi, *op. cit.*, 1971, fig. 6.3, p. 65 et in R. Saïd, *op. cit.*, 1990, chap. 13, fig. 13.2, p. 252.

[50] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980.

[51] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.7, forage Baris 20, p. 270.

[52] J.F. Cauley, C.S. Breed, M.J. Grolier, «The Interplay of Fluvial, Mass-Warting and Eolian Processes in the Eastern Gilf Kebir Region», in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, p. 207-239.

1.3.2 LES COLLINES

En revanche les collines de Douch (photo 1), d'Aïn Ziyada-Dikura, d'Aïn Boreq et d'Aïn Manawir (photo 10) doivent leur volume et en partie l'arête de leur crête faîtière (photo 14) aux grès de la formation Taref sous-jacente. Ici les escarpements sont médiocres (30 m) comparés à ceux du Gilf Kebir ou à ceux de l'enveloppe sédimentaire plus ancienne du Gebel Ouweinat [53].

Normalement, les grès du Turonien sont recouverts par la formation Quseir discordante, alors qu'ils reposent en accordance sur la formation Magharbi sous-jacente [54]. Ces dépôts fluviatiles à faciès deltaïque à côtier constituent une série épaisse d'une centaine de mètres, affectée en direction du nord-ouest d'un biseau de sédimentation, de surcroît réduit par aplanissement (oasis de Bahariya).

À Douch, ils développent une succession de bancs épais qui ont été débités en blocs pour la bâtisse et les colonnes du temple hypostyle. Les carrières du chantier ont été ouvertes aux dépens des crêtes sommitales sur le site même [55].

Localement, ces bancs sont séparés par des couches argileuses qui peuvent atteindre jusqu'à un mètre d'épaisseur et dont les teintes vives varient du blanc à l'ocre, du rouge au bleu et au violet (sommet de Tell-Douch ouest et sommet d'Aïn Manawir). Ce matériel sensible à la désagrégation mécanique livre des lamelles ou des paillettes de couleur qui en se mélangeant au sable plus clair l'assombrissent. L'alternance de ces couches à dureté différente explique les crêtes successives qui constituent le sommet de la butte de Douch (photo 14) et les chevrons de son revers sud. Il en est de même à Aïn Ziyada comme à Aïn Manawir.

En revanche, l'induration des grès est variable. Généralement compacte, la roche peut être friable comme le prouvent le creusement des tunnels des *qanawat* et des tranchées de rigoles et l'élargissement des cavités (*taffoni*) dégagées sur les faces au vent (photo 15) [56]. Mais on note une plus grande résistance des blocs du temple à la corrasion, en raison d'une induration particulière dont l'origine est tectonique.

De surcroît, par comparaison avec les sables dunaires actuels, les grains libérés du grès sont usés et plus grossiers au point de constituer un pavage à la surface des rides et des placages sableux (photo 15).

Enfin, à la base de la série, certains bancs contiennent des concrétions ferrugineuses [57] qui se trouvent joncher les pentes méridionales du site. De la sorte, la couleur du grès varie également. Blanc pâle à rose clair en général, elle peut être plus ocre-jaune ou brun sombre à rouge. Cette coloration résulte d'imprégnations d'oxydes de fer et de manganèse.

[53] « Expédition scientifique belge dans le désert de Libye, Jebel Uweinat », 1968-1969, *Africa Tervuren* XV/4, 1969, p. 101-136, photos p. 102, 103, 106 et p. 108, 111, 116.

[54] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.7.

[55] Les fronts et les déchets de taille se situent à proximité du temple de briques, à l'ouest du grand temple.

[56] Cf. les mêmes formes dues à la corrasion éolienne photographiées par F. El-Baz, « Journey to Egypt's Farthest Corner », in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, fig. 1.15, p. 17.

[57] L'analyse de l'une d'entre elles a donné : Al_2O_3 : 2,2 % ; Fe_2O_3 total : 55,58 % ; TiO_2 : 0 % ; CaO : 0,52 % ; MGO : 0,55 % ; Na_2O : 0,77 % ; K_2O : 0,66 % ; MnO : 0,04 %. (Analyse faite par Mme Andrée, UA 0141 CNRS).

Preuve de la circulation artésienne de l'eau, leurs dépôts pelliculaires s'observent à l'intérieur des fentes de dessiccation qui découpent le matériel limoneux des yardangs (photo 16), comme sur les plans de taille des tranchées d'aqueduc, de *qanat* (*qanat* à l'est de Douch) ou sur ceux du puits à escalier creusé dans le limon gris-vert, à Dikura. L'apparition de ces concentrations dépend des conditions climatiques, et le vernis sombre écaillé sur les parois du Naqb Douch en est un témoignage, comme elle relève des variations du niveau des nappes souterraines. Dans ce cas, les tavelures observées prouvent l'établissement d'une frange capillaire au-dessus de la nappe phréatique et résultent d'une intense évaporation par climat sec. Elles démontrent que l'eau sous pression contenue dans les grès traverse les formations superficielles qui les recouvrent.

Fissurés et poreux, les grès de la formation Taref présentent donc un faciès apte à la circulation vadose de l'eau, d'autant que les roches sous-jacentes se présentent aussi comme des réservoirs hydrogéologiques complémentaires. La fracturation assure le déplacement de l'eau entre les différentes séries lithologiques des grès de Nubie et commande leur capacité hydraulique.

1.3.3 LE SOUBASSEMENT SÉDIMENTAIRE DE L'EMBAYMENT

Parfois lacunaires, les faciès inférieurs n'affleurent pas dans la région de Douch. Ils constituent le soubassement de la formation Taref. Ils contribuent à renforcer le rôle hydrogéologique des grès de Nubie.

Si la formation Maghrabi (Cénomanien) supporte en accordance la formation des grès, elle repose, en revanche, en discordance sur la formation de base du système des grès de Nubie [58]. Cette couche mince d'argilites à lits de grès interstratifiés est réduite à moins d'une dizaine de mètres dans la région de Baris [59].

La formation Six Hills est réduite par érosion et déformation synsédimentaire, car d'une épaisseur de 220 à 350 m dans la région de Baris, elle peut atteindre plusieurs centaines de mètres à Dakhla. Elle présente à sa base une succession de bancs gréseux à conglomératiques et de couches interstratifiées d'argile ; puis, dans sa partie médiane une série d'argiles et de grès plus fins, pour se terminer par des bancs de grès grossiers. L'ensemble est daté du Barrémien-Néocomien, c'est-à-dire du Crétacé inférieur.

[58] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.3, p. 264.
[59] *Ibid.*, logs, fig. 14.7, p. 270.

1.3.4 LE SYSTÈME DES GRÈS DE NUBIE. SON RÔLE HYDROGÉOLOGIQUE

Chacune de ces formations de base est incomplète, voire lacunaire. La capacité de l'aquifère en est réduite d'autant. Le système des grès, même complet, reste un réservoir modeste par rapport à celui développé plus à l'ouest dans les grès paléozoïques [60]. L'histoire de l'occupation humaine de ces massifs gréseux en a été différente, malgré des conditions géologiques en apparence voisines.

Le système des grès de Nubie dans le secteur de Baris se présente comme une série sédimentaire à faciès détritiques prépondérants qu'interrompent des récurrences marines plus schisteuses et argileuses. Cette disposition alterne des faciès poreux et perméables et des faciès imperméables. Ces derniers jouent le rôle d'un niveau de base, local ou interne, capable de modifier la circulation vadose des grès. La lithologie demeure hydrogéologiquement favorable à la multiplication de petites nappes souterraines et à leur drainage, en raison de la fracturation, qui rend moins étanches les faciès argilo-schisteux. La fissuration favorise également en profondeur le confinement des eaux libres, mené jusqu'au stade de la rétention artésienne (fig. 4). En bloquant les écoulements, les couches imperméables mécaniquement moins aptes à se fracturer sur toute leur épaisseur se comportent comme autant de barrages étanches.

1.4 LES FACIÈS DU PLATEAU

Ils peuvent être regroupés en deux couples roche dure – roche tendre majeurs. Il en résulte un relief structural à emmarchement double avec chaque fois corniche et talus superposés à l'inégale dénivellation en raison de l'épaisseur dissemblable des binômes [61]. Le plus bas de ces couples explique la puissance de l'entablement inférieur qui, à l'est, constitue à lui seul l'horizon de l'embayment. L'entablement supérieur, d'une moindre dénivelée et plus en retrait, est de ce fait moins visible du *tell*.

1.4.1 LE TALUS INFÉRIEUR

Le talus de l'entablement inférieur (photo 3) est composé de bas en haut :

– de la formation Douwi. Il s'agit d'un faciès à phosphates de quelques mètres d'épaisseur qui repose en accordance sur la formation Quseir sous-jacente. Il se montre sous son aspect le moins épais comme l'indique la colonne sédimentaire levée au droit du Naqb Douch. Son influence structurale est négligeable pour le relief.

[60] B. Issawi, *op. cit.*, 1971, fig. 6.2 et 6.4, carte des lithofaciès.

[61] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.11, log 1 - Naqb Douch, p. 276 et fig. 14.16, p. 285.

– de la formation Dakhla (photo 17), épaisse de 160 m, au Naqb Douch [62]. Elle est constituée d'une succession de minces bancs de grès et de fines couches d'argilites schisteuses, sableuses à péliteuses, où sont interstratifiés des lits de calcaires gréseux. S'y superpose ainsi une douzaine de couples roche dure – roche tendre capables sur les pentes dénudées de faire apparaître des vires ou des petites corniches dont le replat étroit arrête les lamelles de desquamation et de désagrégation détachées des grès et des argilites.

Ce talus de teinte sombre, gris ardoise, à pente raide recoupe en fait trois ensembles lithologiques. À la base, un corps de grès péliteux (60 m), suivi d'une série plus argileuse (50 m) ; au sommet les faciès détritiques deviennent progressivement plus calcaires (50 m). Le grès est ocre à brun, les argilites gris foncé et le calcaire lui-même souvent ocre à ocre brun.

Cette série tendre est disséquée en ravins atténués par des apports de sable venus du plateau. Les pentes d'interfluve sont recouvertes par des dépôts pierreux à patine éolisée, brillants au soleil. Une partie des ravines est en outre encombrée par des blocs calcaires apportés par des épandages, qui ont été eux-mêmes ultérieurement incisés (photo 17).

1.4.2 LA CORNICHE INFÉRIEURE

Elle correspond au calcaire de la formation Kurkur. Ce calcaire dur, de couleur brun-ocre, est à bancs épais séparés par des lits argileux. La série est discordante sur la formation de Dakhla. De fait, en position de faciès latéral son affleurement est lié aux failles est-ouest qui découpent le rebord de la hamada [63]. Par de longues fissures de détente, l'abrupt est découpé en barres longitudinales qui, par sapement et glissement, se disloquent et versent dans les ravins (photo 18).

Ce calcaire récifal est daté du Paléocène. Épais de 40 m, il repose à sa base sur une assise conglomératique à concrétions ferrugineuses emballées dans une matrice argileuse ou calcaire [64].

1.4.3 L'ENTABLEMENT SUPÉRIEUR

Ce front est également composé d'une corniche calcaire et d'un talus schisteux. La corniche correspond au calcaire de la formation Garra ; le talus représente les derniers niveaux de la formation Dakhla que l'assise calcaire recouvre en discordance, tout en terminant le cycle sédimentaire pour ce secteur du plateau libyque.

Déposée du Paléocène final à l'Éocène inférieur, la couche dure est composée de bancs massifs blancs et contraste avec le talus sombre (15-20 m) aux couches d'argilites grises [65].

[62] *Ibid.*, fig. 14.11, p. 276.

[63] *Ibid.*, fig. 14.4, p. 266.

[64] Ces dernières parsèment par exemple la surface de la dépression avoisinant le parcellaire d'Aïn Boreq.

[65] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.11, p. 276.

Plus festonné que le précédent, le front qu'elle forme peut être précédé de buttes-témoins. Il domine une étroite dépression orthoclinale dont le matériel taillé en glacis a été disséqué et recouvert par des dépôts fins colluviaux façonnés en yardangs. Les nombreux ravins anaclinaux du front sont ensablés ou barrés par des dunes.

Comme la précédente, l'assise calcaire s'amincit du sud vers le nord de 50 m à 20 m. Elle passe latéralement à la formation Esna-Tarawan, au nord de Kharga. Ces variations d'épaisseur acquises au cours même de la sédimentation ne sont pas sans influer sur les capacités hydrogéologiques des séries lithologiques à l'échelle des faciès. Il en résulte une très nette dispersion des lieux favorables à la résurgence des sources.

1.4.4 LE RÔLE HYDROLOGIQUE DES FACIÈS DU PLATEAU

La série lithologique du plateau libyque n'est que médiocrement favorable à la constitution de nappes phréatiques. La formation Dakhla faiblement fracturée est souvent interrompue par des couches interstratifiées imperméables. Quant aux dalles calcaires, elles sont trop minces pour avoir été des réservoirs karstiques importants, même si un karst souterrain, désormais mort, a pu s'y développer par endroits (galeries recoupées par le recul de l'abrupt et grottes au sud du Naqb Douch).

1.5 LES ACCIDENTS TECTONIQUES ET LA LOCALISATION DES NAPPES PHRÉATIQUES

Dans l'embayment de Baris, la formation Quseir est traversée par les grès de la formation Taref. Les reliefs dissymétriques de la région de Douch ont fixé le site de l'ancienne Kysis et ceux de ses hameaux ou écarts, car ils constituent autant de réservoirs perchés. La lithologie ne peut donc à elle seule expliquer la localisation des réserves d'eau. La mobilité tectonique y contribue également.

La trame tectonique comprend les déformations gauches du socle et les accidents cassants qui affectent la couverture sédimentaire, en particulier dans le secteur de Baris - Abou Bayan. Elle permet d'expliquer la multiplicité des sources éruptives artésiennes qui sont localisées autour de chaque relief gréseux, semblables à celles observées dans la région de Bir Sahara - Bir Tarfawi [66]. Leur emplacement et leur fonctionnement peuvent être expliqués en effet à partir de la tectonique, comme le révèlent à l'échelle des faciès le broyage et la fracturation des roches.

L'expression de trame tectonique peut paraître paradoxale en raison des caractéristiques du relief structural. Le plateau libyque, portion d'une couverture sédimentaire récente, est caractérisé, comme sa traversée ou son survol permettent de l'observer, par des pendages

[66] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, fig. 2.4, p. 20.

faibles, inférieurs à 5°. Aussi peut-on définir le bord ouest de la *hamada* qu'il constitue entre la vallée du Nil et la dépression de Kharga comme un talus de coteau dominant de 350-400 m les oasis de la Grande Vallée.

Là, selon la superposition des faciès qu'il tranche, l'escarpement, recoupé par une surface d'aplanissement sommitale, se développe en corniches successives séparées par des talus à ravins qu'interrompt parfois un replat structural étroit. Ainsi se présente-t-il lorsqu'on vient d'Assiout ou lorsqu'on suit la piste qui de Baris conduit à Esna [67].

Cependant, à l'échelle des formations lithologiques, des pendages plus accentués révèlent des déformations gauches ou cassantes. Ainsi des culminations anticlinales parfois synsédimentaires rendent-elles compte des dômes secondaires qui affectent le calcaire de la formation Kurkur et sur lesquels au cours même de son dépôt a été réduit en épaisseur le calcaire discordant de la formation Garra. On explique ainsi qu'il ait été plus facilement tranché par l'aplanissement post-éocène, comme le montre, sur l'image SPOT, la disposition en auréoles des couches, en relation avec l'arasement d'une structure gauche.

De surcroît, le passage latéral de faciès confirme l'existence d'une disposition en hauts-fonds et en bassins qui expriment les déformations profondes du socle sur lesquelles se calquent dorsales et cuvettes de la couverture sédimentaire. Ce dispositif se montre suffisamment différencié pour provoquer la mise en charge des nappes hydrogéologiques qui y sont piégées, et entraîner leur jaillissement artésien.

Ainsi, à ce premier système tectonique qui fait du rebord ouest du plateau libyque, parfois un talus de coteau, parfois un front de côte, eux-mêmes hérités, selon les secteurs, d'une faille ou d'une flexure, accidents qui permettent à petite échelle de définir structuralement la dépression de Kharga comme un angle de faille ou comme une boutonnière qui, au nord, se ferme en terminaison périanticlinale localement exagérée par un fossé d'effondrement, faut-il ajouter, et tout particulièrement dans le secteur de Baris-Abou Bayan, un second système caractérisé en surface par de grandes cassures, comme le confirment les figures tectoniques qui affectent le matériel rocheux à l'affleurement. Cet autre se superpose aux déformations gauches précédentes qui sont à l'origine des changements de faciès et d'épaisseur des formations lithologiques, comme à l'origine des biseaux de discordance tels qu'on peut les observer de la plaine, en longeant les abrupts qui constituent l'Aïn Tafnis, à la hauteur de Baris. Il commande le compartimentage structural de la couverture sédimentaire et celui du socle cristallin (fig. 4). Il situe le long des accidents cassants qui le définissent les évents du jaillissement artésien.

[67] B. Bousquet, « Paysage et géographie de la région de Douch », in M. Reddé, *Rapport de fouille*, 1988.

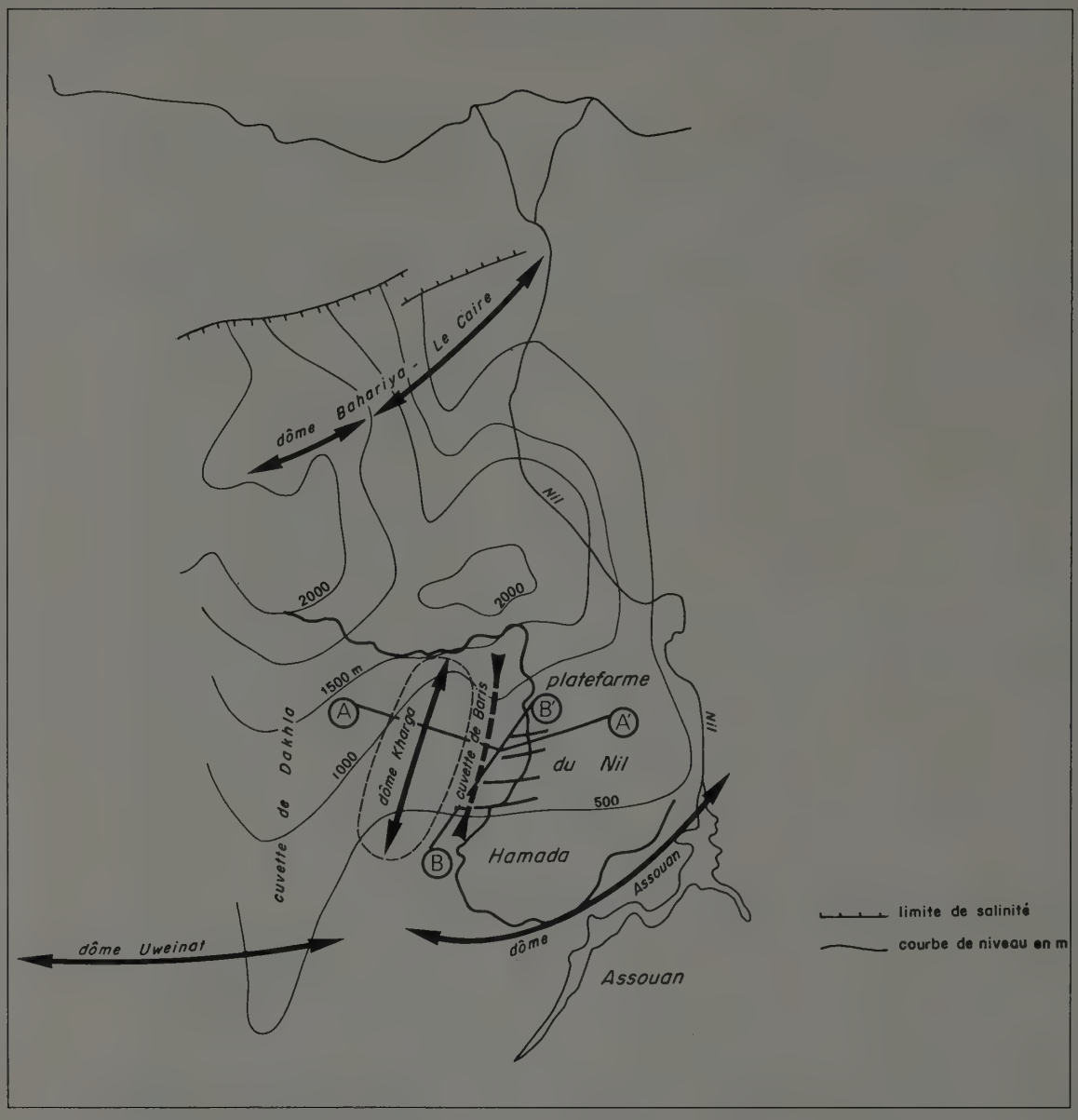
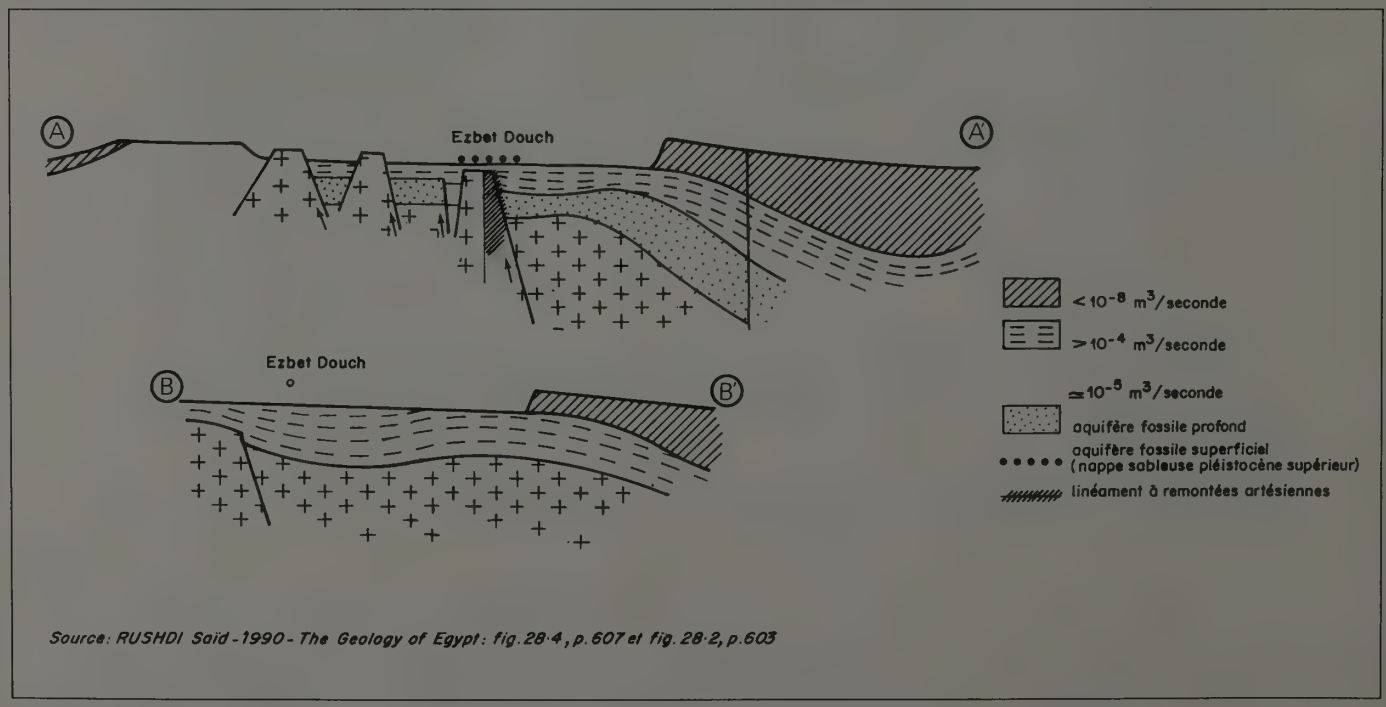


FIG. 4.
A. *L'ombilic de la région sud de Kharga.*



B. *Perméabilité des séries sédimentaires.*

1.6 LES GRANDES CASSURES DE SURFACE

Le cisaillement de Wadi al-Abd se manifeste à l'échelle de l'embayment de Baris - Abou Bayan et du plateau libyque. On peut le considérer comme l'accident le plus septentrional du linéament guinéo-nubien, ce dernier étant en revanche à considérer à l'échelle du continent africain.

1.6.1 LE LINÉAMENT DÉCROCHANT DE WADI AL-ABD

À Tell-Douch, dans l'embayment de Baris, l'affleurement singulier et isolé des grès de la formation Taref se comprend en fonction d'un accident tectonique. Seule une faille explique la colline dissymétrique où s'installa Kysis. Elle appartient au faisceau de failles de Wadi al-Abd, que l'étude du terrain interprète comme un linéament décrochant, à déplacement plus horizontal que vertical [68].

Reconnu par les géologues égyptiens, cartographié [69] et décrit [70], il a été suivi sur le terrain depuis Aïn Manawir, à l'ouest de Douch, jusqu'au plateau sommital au delà du vallon de fracture du Naqb Douch, à l'est, le long d'un parcours de 20 km [71]. Sur les images SPOT, il paraît sous l'aspect d'un linéament nettement tracé à la surface du plateau libyque. Il est plus confusément dessiné à la surface de l'embayment, comme si les schistes de la formation Quseir l'atténuaient progressivement.

Il fait partie d'une famille de linéaments qui se multiplient à l'extrémité méridionale du plateau, dans la région de Dongol [72]. Le linéament du Wadi al-Abd débute comme un accident unique à la surface du plateau au pied du Gebel Katkout, à l'est; puis il se dédouble au droit de la boutonnière du Wadi al-Abd, pour recouper le rebord de la hamada au pied du Naqb Douch (bande de broyage et miroirs transverses visibles). À partir de là, des deux accidents parallèles dont les regards se font face, seul celui le plus au nord subsiste et affecte l'embayment de Baris. Au delà de la colline d'Aïn Manawir qu'il découpe, il disparaît à l'ouest masqué par les *barkhanes* du Gharb abou Moharik.

Ces accidents sont des failles dont le rejet ne dépasse pas la quarantaine de mètres, égal à l'épaisseur soit de la formation Garra pour le plateau, soit de la formation Quseir pour l'embayment.

Entre Aïn Boreq et Aïn Manawir, la suite des collines est de la sorte composée d'une série de blocs de grès basculés à regard nord. Chacun de leurs fronts peut être interprété

[68] Le déplacement horizontal d'une valeur inférieure au kilomètre se caractérise par la rareté et la médiocrité des abrupts.

[69] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.4, p. 266; M. El-Hinnawi, A.M. Abdallal, B. Issawi, *op. cit.*, 1978, fig. 1, «Geological Map of the Abu Bayan el Wastani and Bolaq».

[70] M. El-Hinnawi *et al.*, *op. cit.*, 1978, p. 44.

[71] B. Bousquet, «Paysage et géographie de la région de Douch», in M. Reddé, *Rapport de fouille*, 1988.

[72] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 8.3, p. 115.

comme un escarpement de ligne de faille. Si leur abrupt est à dénivellation franche au droit des affleurements de grès, en raison d'une échelle de résistance opposée, dans la formation Quseir, aucun rehaut topographique remarquable ne transcrit l'accident. Mécaniquement réduite dans les schistes, la faible hauteur des miroirs a été en outre atténuée jusqu'à être nivelée par le développement des glacis qui définissent le modelé de l'embayment.

À suivre la ligne de faille, alors que les plans de friction repérés sont rarement exprimés topographiquement, on observe cependant un certain nombre de figures tectoniques indirectes (torsion de couches et broyage de la roche), dont la répartition est significative d'un linéament tectonique (fig. 5).

À proximité de la zone faillée, on observe, du côté du bloc soulevé, dans les argilites, des bandes de roche écrasées (Aïn Ziyada, Aïn Manawir et Naqb Douch), qui ont été ultérieurement transformées en un faciès informe de liquéfaction, en raison des venues d'eau et des suintements artésiens pour lesquels elles ont servi de drain, de guide ou de compresse hydrogéologique. En revanche, dans les secteurs restés secs, s'observent, bien conservées, des figures gauches d'entraînement (Aïn Ziyada et Aïn Manawir, tranchées des puits de Douch et carrière récente).

Dans les grès, se remarquent des torsions légères de bancs dont la signification est celle d'un crochon de faille, et parallèles à la zone faillée, des failles connexes synthétiques plus courtes qui en redoublant les faciès du grès qu'indure un ciment plus siliceux, multiplient les crêtes sommitales que séparent d'étroits couloirs topographiques affaissés (crête sommitale de Douch, photo 14, à revers parcouru de diaclases de tension). Dans ce cas le rejet est de l'ordre, au maximum, de la dizaine de mètres [73]. Du côté affaissé, dans les argilites, on observe des fentes pennées et, plus rarement, des failles annexes antithétiques [74].

On trouve également, ce qui permet de définir l'accident tectonique comme un cisaillement à composante décrochante dextre, outre des diaclases perpendiculaires à la ligne de faille, des fentes de tension disposées en échelon, dont la béance en est restée au stade de début de rupture. Un remplissage de quartz grossiers, induré par un ciment siliceux, fait que par érosion différentielle, ces colmatages de fissure ont été transformés en échines saillantes (inversion de relief) sur les pentes des buttes (arêtes similaires à des dykes de faille à Aïn Ziyada (photo 19), à Douch et au seuil de Dikura).

Une induration identique affecte les bancs de grès les plus proches de la zone faillée. Leur cœur dégagé par les carriers a été débité en blocs pour construire le temple hypostyle. Ce faciès singulier permet de comprendre l'emplacement des carrières et la résistance à la corrasion éolienne des pierres du bâtiment ainsi que la présence persistante d'éclats dans les ateliers de taille, alors que les éjecta dus au creusement des *qanawat* dans du grès

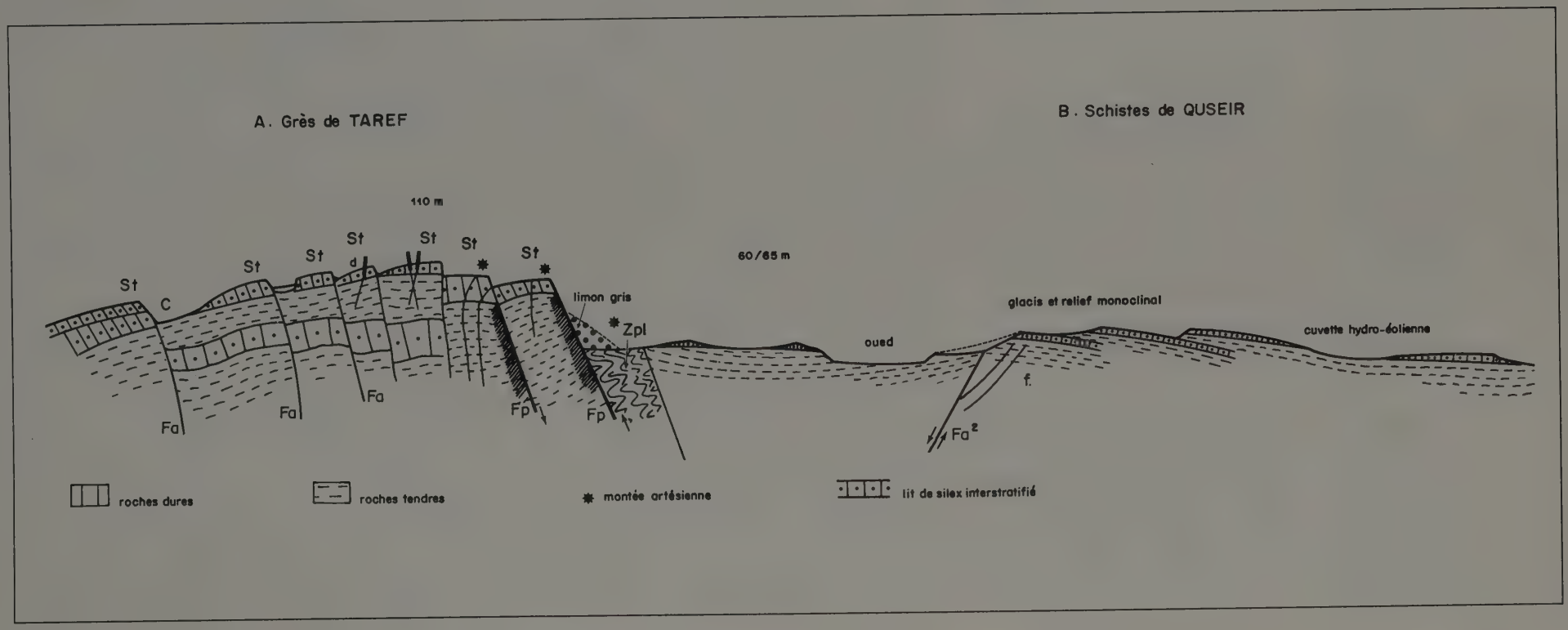
[73] Cf. l'abrupt des tombes à l'ouest du temple anépigraphe.

[74] Cf. le site des nécropoles ou les tranchées des puits à l'ouest de l'oasis.

FIG. 5. *Morphologie et figures tectoniques dans la zone du décrochement.*
(schéma synthétique construit à partir des observations menées entre Aïn Boreq et Aïn Manawir).

A. *Bloc soulevé. Secteur à réseau de fentes d'extension et à fracturation des bancs massifs.*
Fas. = *Faille annexe synthétique.*
Fp. = *Faille principale avec zone d'induration siliceuse, en légère compression, avec crochons et torsions des diaclases.*
St. = *Surface de strate avec torsion des couches.*
d. = *Diaclase avec dykes de faille (remplissage induré).*

B. *Bloc affaissé.*
Fa2 = *Faille annexe antithétique.*
f. = *Fente pennée.*
Zpl. = *Zone de plissement d'entraînement dans les schistes.*
R. = *Remontée artésienne possible à partir des failles, des fractures et des diaclases.*



plus friable ont été rapidement désagrégés, en moins de deux millénaires. Les grains grossiers restés à la surface des limons constituent un pavage de déflation incongru, qui sert d'indice pour repérer les galeries souterraines dont les cheminées d'accès, en outre ensablées, sont devenues invisibles, puisqu'elles ne se signalent plus par les monticules de débris laissés sur place, selon l'habitude (photo 83).

À ces figures établies à l'échelle du faciès rocheux, il faut associer à une échelle supérieure la disposition structurale des collines les unes par rapport aux autres (fig. 6). Leur localisation se fait de part et d'autre du linéament. Les altitudes les plus fortes sont précisément situées entre Douch et Aïn Manawir. Les reliefs dessinent de surcroît un alignement légèrement curviligne, Dikura et Aïn Ziyada étant en léger retrait par rapport à la butte de Douch. En même temps leur crête se situe à une altitude plus basse (respectivement 83 m et 98 m). La distribution des fractures associées à la faille principale permet de comprendre cette hiérarchie des blocs, en particulier pour ceux de Douch et d'Aïn Ziyada entre lesquels s'intercale le seuil topographique de Dikura, et à proximité desquels se situent des secteurs préférentiels d'éruptions artésiennes.

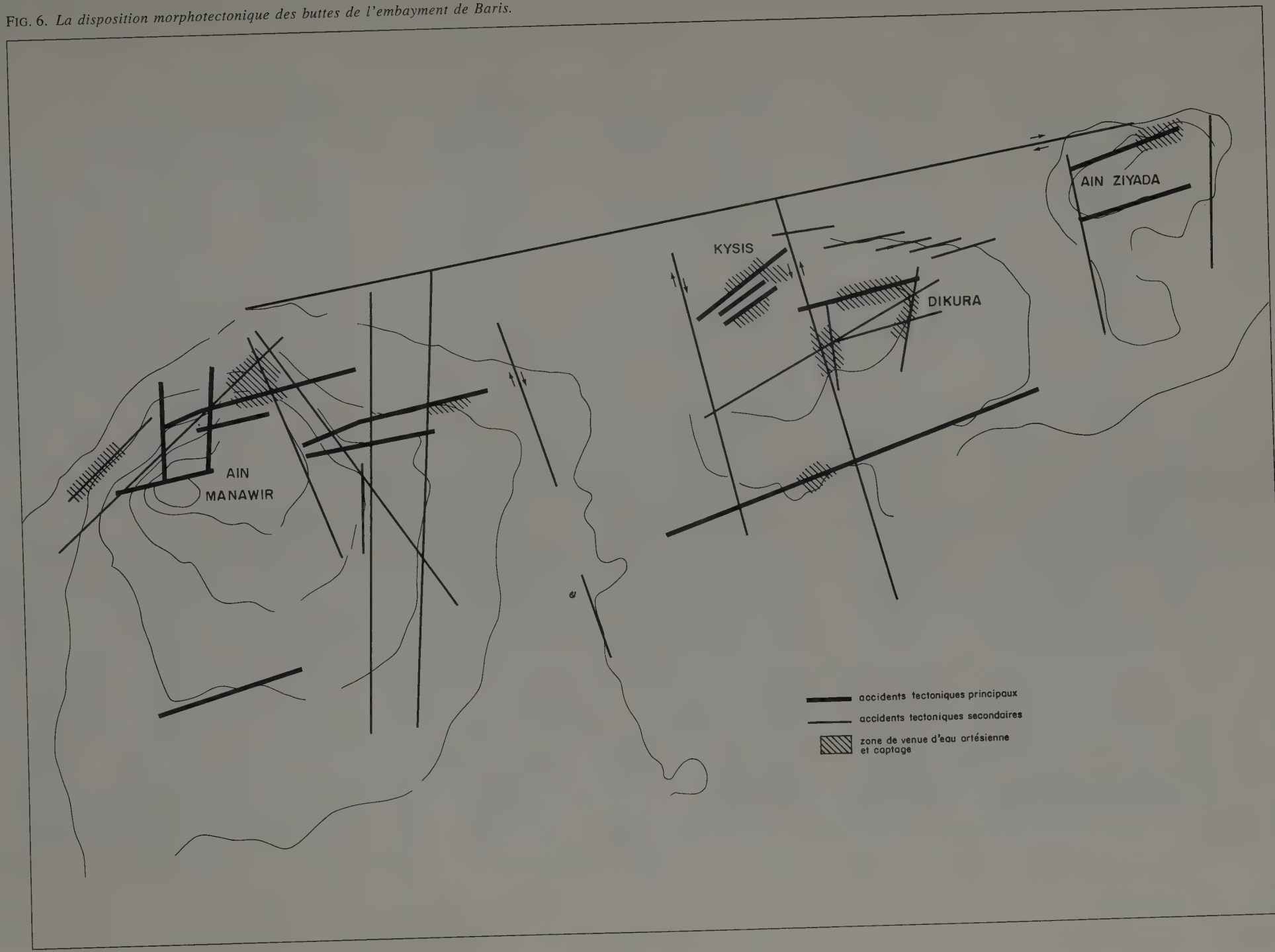
Soit en effet, le décrochement est-ouest dextre de premier ordre et un premier bloc (Douch). Ses faces sont organisées pour les côtés longs comme pour les côtés courts à partir d'accidents secondaires cisaillants distribués selon un système conjugué de Riedel, avec approximativement R = 15° et R' = 75°. Ces fractures transverses expliquent les cols de flanc entre les blocs. Les fractures associées à celles du système de Riedel comme les fentes de tension d'échelle moindre sont perpendiculaires aux directions majeures. Les unes et les autres augmentent sensiblement la fracturation du bloc et sa capacité d'infiltration. Ces accidents secondaires ont servi à guider les galeries drainantes.

Le seuil de Dikura et la butte d'Aïn Ziyada représentent des reliefs de troisième et de quatrième ordre dont les failles secondaires décrochantes ont une orientation de type Riedel par rapport au cisaillement majeur, respectivement de 60° et 360° ; 45° et 165°. Il résulte de ces relations angulaires entre fractures une disposition topographique décalée à incurvation progressive en même temps qu'une diminution de la taille des reliefs et de leur altitude, comme on l'observe depuis Douch jusqu'à Aïn Ziyada.

De ces différentes observations, on conclut à l'existence d'une bande de broyage, témoin d'un accident à composante décrochante. Le linéament est limité par deux miroirs principaux (secteur de Wadi al-Abd) qui s'organisent à son extrémité ouest en cisaillement légèrement plus compressif avec éjection vers le haut des blocs (les reliefs de l'embayment), au droit du secteur où a eu lieu la rotation majeure (d'où les figures gauches d'entraînement) [75]. Ces accidents de surface prouvent des déformations tectoniques qui relèvent de champs de contrainte présents à l'échelle du continent africain.

[75] M. Ruhland, « Méthodes d'étude de la fracturation naturelle des roches associées à divers modèles structuraux », *SGB* 26, 2/3, 1973, p. 91-113.

FIG. 6. *La disposition morphotectonique des buttes de l'embayment de Baris.*



1.6.2 LE LINÉAMENT GUINÉO-NUBIEN

Ces failles sont à rattacher au schéma général des grands accidents africains et annoncent le linéament guinéo-nubien (fig. 7). À l'ouest, ce faisceau est actif, affecté par des tremblements de terre, tel celui de Guinée du 22 décembre 1983. À l'est, il est accompagné de massifs intrusifs de granite jeune et de volcans. Il reste toujours soumis à des secousses telluriques, en particulier près d'Assouan, dans le Gebel Masawa, le long de la faille Kalabsha, plus particulièrement au recoupement de cet accident avec un faisceau de failles nord-sud (séisme du 14 novembre 1981, d'une magnitude de 5.5 à 5.1) [76].

Ce linéament, trait structural propre à la zone méridionale du Sahara, s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge, selon une direction est-ouest qui s'infléchit vers l'est - nord-est à la hauteur de la frontière entre l'Égypte et le Soudan. Sa limite vers le nord peut être située à la hauteur de l'extrémité méridionale de la dépression de Kharga. La mise sous contrainte est récente et serait due à la collision de l'Afrique avec l'Europe [77].

En considérant le tracé et l'histoire récente de ce linéament, on ne peut donc, pour le secteur de Baris - Abou Bayan, rejeter l'hypothèse de l'existence d'une séismicité historique. Le temple de pierre est intact, mais les colonnes de la cour ont été retrouvées abattues. Le portique encore dressé présente un linteau fissuré et qui menace de s'effondrer. Certes la fatigue du matériau gréseux riche en silice et donc cassant peut expliquer la fracturation, mais on peut par hypothèse penser que la fissuration a pu être initiée par les secousses d'un léger séisme historique [78], postérieur à l'abandon du site (micro-sismicité d'intensité inférieure à 5 [79]). La pièce fouillée en 1992 et qui avait été installée dans le passage du pylône indique qu'un tel séisme a dû avoir lieu après l'abandon du site [80].

Rien n'interdit non plus de mettre sur le compte de secousses telluriques les grands écroulements observés à proximité du Naqb Douch. D'autres semblables ont été attribués à des séismes dans la vallée des Rois et des Reines. Ce peut être vraisemblable, d'autant plus que la région de Kharga est située dans une zone de recoupement d'aires sismiques [81].

[76] R. Saïd, *op. cit*, 1990, fig. 6.28, p. 88.

[77] G. Bellon, P. Robineau, « Séismicité de l'Afrique de l'Ouest », *Global Change in Africa during Quaternary Past-Present-Futur*, ORSTOM, 1986, p. 23-24 ; R. Guriaud, « Tectonique, séismicité et volcanisme de la plaque africaine depuis le méso-cénozoïque », *op. cit.*, 1986, p. 179-182 ; R. Guriaud, B. Issawi, G. Bellon, « Le linéament guinéo-nubien, - un trait structural majeur à l'échelle de la plaque africaine », *CRASBA*, 1984.

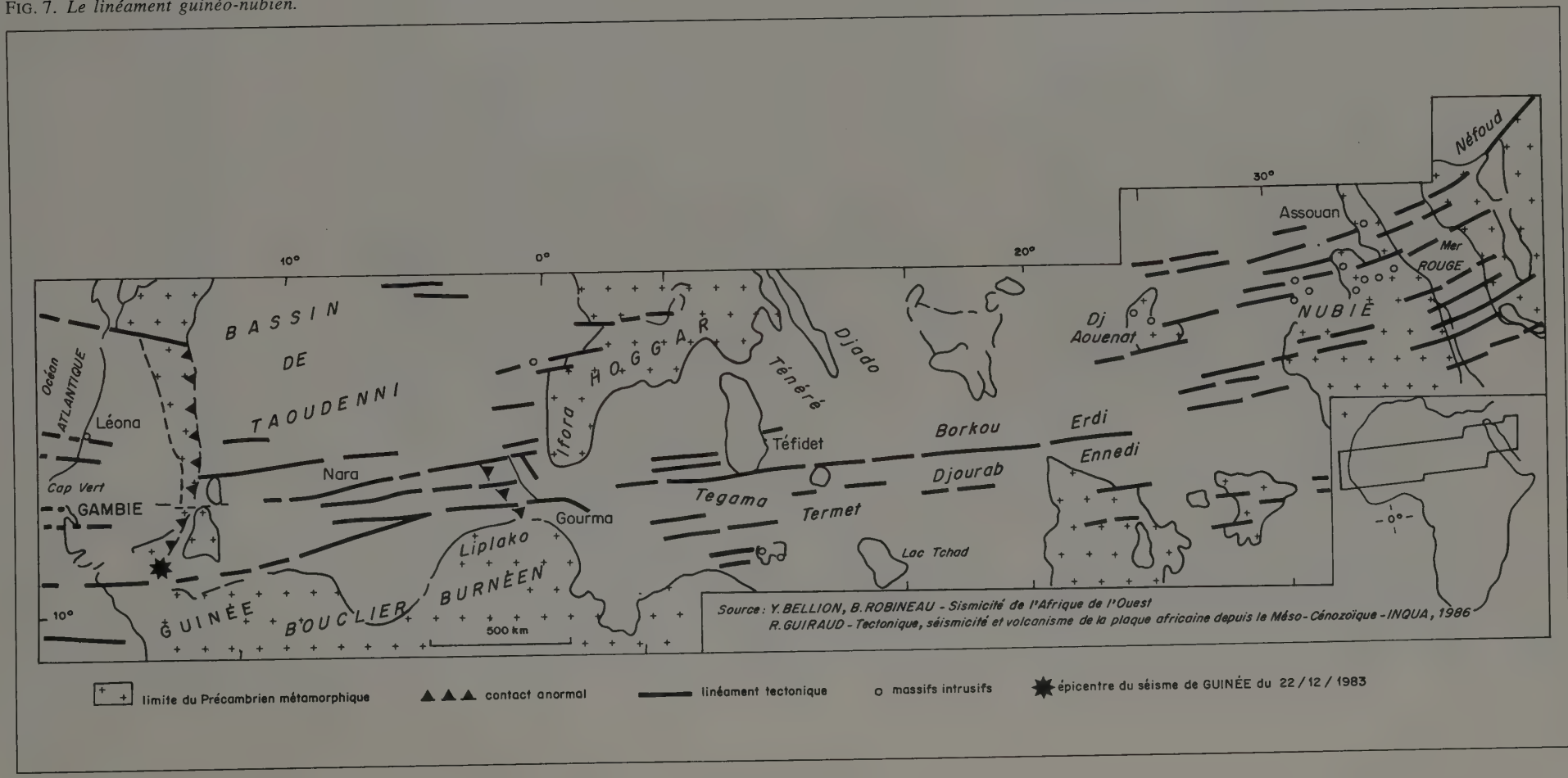
[78] Le séisme du 12 octobre 1992 dont l'épicentre se situe au sud du Caire a fait subir des dégâts à nombre de monuments d'après l'Organisme égyptien des antiquités. Entre autres, le temple d'Hibis à Kharga a vu s'élargir ses fissures, sans que la secousse ait été ressentie localement, en particulier à Douch. On aurait ainsi, si ces observations sont exactes, confirmation de cette hypothèse formulée avant cet événement.

[79] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, chap. 5, « Seismicity », p. 51-59.

[80] M. Wuttmann, *Mission de restauration et d'étude sur le site de Douch (Octobre et Novembre 1992)*, Rapport inédit, 1993, cf. § 1.4, « Fouille du passage de la porte ».

[81] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 5.1, p. 53.

FIG. 7. *Le linéament guinéo-nubien.*



Ce sont respectivement les aires aux épicentres proches d'Alexandrie (séisme du 12 septembre 1955, de magnitude 6.1) ou du Caire (séisme du 12 octobre 1992, de magnitude 5.6), ou celles aux épicentres localisés en mer Rouge (séisme du 31 mars 1969, d'une magnitude 6.3). On sait le rôle joué par une telle géographie séismique pour expliquer l'évolution catastrophique du modelé et la répétition des dégâts aux bâtiments situés à l'intérieur de ces secteurs sans épicentres propres [82].

De plus, le désert occidental connaît une certaine activité sismique comme le prouve le séisme très superficiel (à moins de 10 km de profondeur), du 9 décembre 1978, d'une magnitude 5.3, et localisé dans la région du Gilf Kebir. Le mécanisme au foyer était celui d'un cisaillement, mal individualisé en surface par des miroirs.

Ce type de séisme a une fréquence de l'ordre de 300 ans et, pour les plus violents, de l'ordre de 2000 ans. Les événements sismiques de Douch entrent, s'ils ont eu lieu, dans la catégorie de ces événements telluriques régionaux, peu fréquents et à intervalle de temps long, pour les plus destructeurs.

1.7 LES DÉFORMATIONS DU SOCLE

La structure profonde peut être reconstituée à partir des corrélations stratigraphiques [83] et de la configuration du bassin intracratonique de Dakhla [84]. Elle favorise l'individualisation d'une synforme favorable à la réalisation d'une mise en charge artésienne des nappes d'eau qui s'y sont accumulées et en définitive piégées (fig. 4).

À petite échelle, en profondeur, la Grande Vallée est bordée à l'ouest par la dorsale de Kharga qu'encadrent des failles nord-sud, au sud par la dorsale Uweinat-Assouan dont les faciès cristallins affleurent à Bir Tarfawi, et à l'est par le haut-fond situé au droit du plateau libyque, seuil peu prononcé ménageant une transition vers les structures subsidentes orientales (plate-forme du Nil supérieur). Effective dès l'époque de la sédimentation comme le confirme l'histoire du dépôt des faciès, cette tectonique a vu son activité être prolongée ultérieurement (néotectonique plio-quaternaire) (fig. 4).

Les séquences sédimentaires les plus épaisses permettent d'identifier à l'endroit de l'embayment de Baris une cuvette secondaire subsidente [85]. Il en résulte qu'au droit de Douch se situe une dépression structurale où peuvent être confinées les nappes souterraines régionales.

[82] B. Bousquet, « Séisme et paysage méditerranéen », in *Les milieux et les hommes dans les pays méditerranéens*, Poitiers, *Études méditerranéennes*, fasc. 11, 1987, p. 207-220.

[83] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 14.7, p. 270 et fig. 14.11, p. 276.

[84] *Ibid.*, fig. 4.1, p. 48 et fig. 14.2, p. 261 et fig. 13.2, p. 252.

[85] Cf. le tracé des lignes isopaques, *ibid.*, fig. 14.2, p. 261.

À ces données lithologiques s'ajoute à petite échelle une situation tectonique qui, en influant dès l'origine sur les conditions de la sédimentation, se montre favorable à la constitution de nappes artésiennes. L'ensemble sédimentaire repose en effet sur un socle cristallin qui affleure au sud de Douch dans les collines du Gebel Abou Bayan al-Bahari, introduisant en quelques kilomètres un contraste lithologique majeur dont rend compte la brutale remontée du cristallin. Ainsi le découpage structural du socle et de sa couverture peut-il également expliquer la présence de nappes artésiennes à l'intérieur du système sédimentaire gréseux [86]. L'embayment de Baris se montre donc propice à des jaillissements éruptifs d'eau sous pression. La lithologie le permet autant que les tectoniques synsédimentaires et tardives.

En outre le linéament guinéo-nubien en multipliant les accidents est-ouest accentue le cloisonnement, le confinement des nappes et leur possible mise en charge. De même la fracturation qu'il occasionne multiplie-t-elle les sites de jaillissement. En contrepartie, le compartimentage réduit l'importance des réserves en eau comme le confinement accentue l'autonomie des réservoirs les uns par rapport aux autres, les réduisant parfois à des nappes souterraines locales.

À l'échelle de la dépression de Kharga, il résulte de ces propriétés dès l'origine associées, parce que liées à l'histoire des faciès lithologiques et à celle des déformations profondes, que les systèmes sédimentaires majeurs, d'une part le système des grès de Nubie et d'autre part le système des calcaires du plateau libyque, possèdent des caractéristiques hydrauliques différentes. Les grès ont une perméabilité moyenne à la différence des calcaires à la perméabilité mauvaise [87].

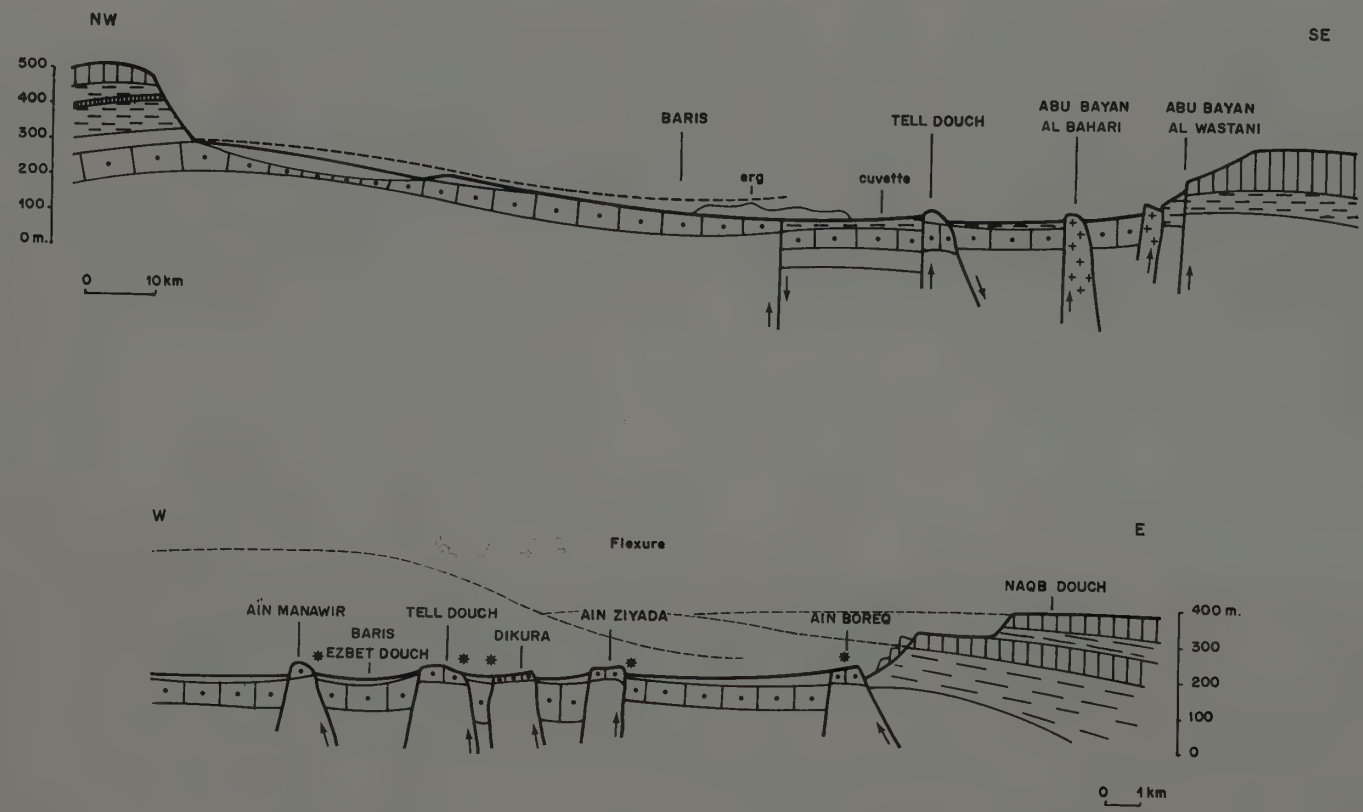
Les coupes synthétiques dressées à l'échelle du désert occidental permettent de localiser les diminutions d'épaisseur des formations lithologiques les plus favorables à la constitution des nappes hydrogéologiques (fig. 4). Elles montrent que les réserves qui s'y constituent sont faibles. Elles présentent, outre le dispositif des hauts-fonds et des blocs soulevés du linéament guinéo-nubien, celui des dépressions subsidentes les plus profondes comme des cuvettes connexes de fait les moins déprimées.

De ces reconstitutions structurales, on conclut à la possibilité de nappes artésiennes mais d'un volume réduit. L'avantage du découpage en compartiments et de la faible épaisseur des faciès est de rendre ces nappes proches de la surface (50 m). Elles sont ainsi accessibles par les techniques semblables à celles de l'Antiquité. En contrepartie, le cloisonnement structural du bassin rend plus difficile la régularité de leur alimentation, car l'échelle locale peut l'emporter sur l'échelle régionale ou zonale. Il explique également que les puits ne sont pas taris simultanément, puisque chacun d'entre eux peut être, dans ces conditions, alimenté par une nappe individuelle.

[86] *Ibid.*, fig. 14.4, p. 236 et B. Issawi, *op. cit.*, 1982, p. 64-65, fig. 6.1, 6.2, 6.3

[87] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 608-609, fig. 28.5 coupes B-B" et E-E".

FIG. 8. *Coupes et évolution de la dépression de Kharga.*



1.8 LE RELIEF MORPHOSTRUCTURAL À L'ORIGINE DES SITES D'OCCUPATION DU SECTEUR DE DOUCH

Le relief morphostructural se définit à partir de l'abrupt double (Naqb Douch), à la limite ouest du plateau qui s'interpose entre la vallée du Nil et la dépression de Kharga, et à partir des collines dissymétriques qui, d'Aïn Boreq à Aïn Manawir, accidentent la plaine, selon un alignement perpendiculaire au rebord du plateau.

1.8.1 L'ABRUPT DOUBLE DU NAQB DOUCH

Les facteurs structuraux précédemment définis expliquent ce relief. L'ensemble lithologique appartient à une couverture sédimentaire alternée, concordante, tabulaire ou monoclinale, et à variations internes de pendages. Ces caractéristiques associent les conditions nécessaires et suffisantes qui permettent de définir la limite du plateau comme un front double de coteau ou de côte (cuesta), selon la valeur du pendage local.

Les dalles calcaires déterminent les corniches ; les roches tendres commandent les talus. Un replat structural se développe par recul du front supérieur qui met au jour le plan stratigraphique de la couche calcaire inférieure, sur une largeur de plus d'un kilomètre, par endroits. Sa surface sert de lit d'écoulement pour le vent. Elle est lacérée par des sillons de corrasion.

1.8.2 LES CONDITIONS D'APPARITION DU PLATEAU ET DE LA DÉPRESSION

La réalisation de ce relief structural résulte de l'action de l'érosion différentielle. Par rapport à la situation originelle, elle a produit un relief inversé (fig. 8).

Il faut en effet reconstituer à la place de la dépression actuelle de Kharga dont le plancher est taillé dans les grès de Nubie, support inférieur de la hamada, un relief saillant. Le flanc oriental de ce dernier devait être affecté d'une flexure, parfois exagérée par des failles, comme l'indiquent les changements de pendage des couches observées à l'affleurement. D'une centaine de mètres de commandement au moins et progressivement atténué, le dôme a été nivelé par une surface d'aplanissement post-éocène.

La surface du plateau montre que le plan stratigraphique de la dalle calcaire supérieure et la surface topographique ne coïncident pas. Les bancs y paraissent entamés et même recoupés en biseau à proximité de l'abrupt, à la différence de ce qu'on observe pour le replat structural situé en contrebas.

La transformation par érosion du dôme en cuvette s'est alors amorcée dès que furent atteintes les argilites et les marnes inférieures qui à altitude égale avec les calcaires se sont montrées moins résistantes. Dans le compartiment structuralement plus bas, les couches calcaires à l'épaisseur différente ont commandé l'apparition d'un double abrupt d'autant plus rapidement dissocié que la dalle supérieure était plus mince. L'escarpement sommital a reculé plus, entraînant le dégagement du replat structural dérivé. Amincie par l'érosion, la dalle supérieure a été en outre affectée plus précocement par la diminution de la valeur

pendages. L'atténuation géométrique facilita le recul du front. L'escarpement monoclinal au droit de la flexure fit place progressivement à un front de coteau dès que la portion horizontale de la couche fut atteinte.

L'abrupt double du plateau a donc été dégagé au flanc d'un dôme, résultat d'un bombement à moyen rayon de courbure. Les oppositions lithologiques le long du biseau d'aplanissement ont été exploitées par l'érosion différentielle. Il en est résulté la disposition topographique actuelle qui oppose le plateau à la dépression. Le trait était acquis à l'aube du Quaternaire qui, en revanche, sera une période d'approfondissement de la dépression.

1.8.3 LES COLLINES DISSYMÉTRIQUES DE L'EMBAYMENT

La plaine de Douch est caractérisée par un alignement de collines dissymétriques. Leur front nord s'aligne selon une direction est-ouest qui révèle l'influence de contraintes d'ordre tectonique.

Il faut comprendre l'alignement des reliefs qui portent certains des sites antiques (Douch et Aïn Ziyada, sites perchés par rapport à la plaine et aux oasis actuelles), et chaque fois singularisé par la présence de points d'eau, comme dérivant d'un accident tectonique, perpendiculaire à l'abrupt, semblable à ceux qui, plus au sud, découpent en lanières la terminaison du plateau. Celui de Douch serait le plus septentrional d'entre eux.

Les faciès lithologiques des collines diffèrent de ceux du talus inférieur de la hamada dans le secteur d'Aïn Boreq et le long du talus du Naqb Douch. Mais le fait le plus nouveau est la part plus grande prise par les grès et par les phénomènes tectoniques qui seuls permettent de rendre compte de la dissymétrie topographique des reliefs. Chacun de ces derniers est en effet composé d'un front à regard nord et d'un revers en pente vers le sud – sud-est. Leur origine tectonique est également seule à pouvoir expliquer l'hétérogénéité lithologique qui spécifie chacun d'eux.

Aucune des buttes n'est par sa structure semblable à sa voisine. D'abord aucune n'est définie à partir des mêmes faciès. Les reliefs d'Aïn Boreq et de Douch sont partiellement dégagés dans les séries gréseuses. Ceux d'Aïn Ziyada (90 m) et d'Aïn Manawir (120 m) sont surtout des collines d'argilites et de marnes schisteuses, à barres gréseuses d'ordre tectonique. Cette disparité lithologique s'accompagne en outre d'un contraste de dureté en contradiction avec les altitudes. Les points les plus hauts sont en roche tendre. De tels faits révèlent une intervention de la tectonique, seule capable de rendre compte sur une si courte distance (20 km) de la marqueterie des affleurements. Il faut ajouter des variations de pendage, également peu compréhensibles dans le seul cadre d'une structure tabulaire ou faiblement monoclinale, géométriquement peu marquée par des variations brusques longitudinales ou transverses du pendage, que soulignent de leur côté la rigidité de l'abrupt et son faible festonnement. Enfin, les modifications soudaines apportées à la structure régulière de la couverture sédimentaire se distribuent le long d'un accident topographique dont l'altitude s'abaisse progressivement de l'ouest vers l'est.

On ne peut comprendre l'accumulation de tant de changements d'ordre structural qu'en fonction d'un accident tectonique qui affecterait autant la plaine de Douch que la crête

ruiniforme au-dessus d'Aïn Boreq. Le rebord du plateau calcaire est en effet à cet endroit découpé en blocs étagés. Les parois nord de ces derniers s'alignent toutefois selon l'orientation de l'accident de la plaine. Le linéament à la surface du plateau s'accompagne d'une fissuration intense de la roche (bande de broyage à relief ruiniforme) et se poursuit par l'entaille d'un vallon de fracture qui découpe d'entonnoirs obséquents l'entablement sommital. De même l'abrupt ne se réduit pas à une corniche simple, mais il peut être affecté de cols de flanc et d'ensellements liés à l'influence d'une tectonique de gravité. L'appel au vide découpe en lanières le rebord massif (photo 18). Il explique les décalements observés et le réseau dense de petites gorges qui le recoupent transversalement.

En outre à une échelle moindre, les flexures brutales qui affectent le substratum des collines à Aïn Ziyada, à Douch et à Aïn Manawir, de même que la fracturation oblique ou transverse au front sont autant d'indices de la présence de cet accident décrochant.

Il faut donc interpréter le front à regard nord des collines dissymétriques comme un escarpement commandé par un accident tectonique à faible rejet affecté d'une composante décrochante. Ce mouvement de coulissage explique le broyage des roches sur une épaisseur importante. Les ensellements qui les séparent et où se logent les puits correspondent à des accidents secondaires exploités par l'érosion différentielle. Sur les flancs ouest et est, on observe en effet que les enveloppes gréseuses sont débitées en barres et que les faciès tendres voient leur feuilletage sédimentaire être surchargé d'une schistosité de fracture, pouvant atteindre en intensité l'état du broyage (faciès informe de liquéfaction).

1.8.4 BLOCS SOULEVÉS DEVENUS INSELBERG

À l'échelle de la plaine de Douch, les collines s'inscrivent ainsi à l'intérieur d'un compartiment surélevé dissymétrique. Ce demi-horst en coin dont le point culminant correspond à la forme triangulaire massive de la colline d'Aïn Manawir au revers incliné vers le sud-est présente une lithologie diversifiée, résultat d'un compartimentage dû à des accidents transverses. En outre, il se subdivise en reliefs structuralement différents, en raison de la trame tectonique et des variations de pendage qu'exploite l'érosion sélective.

Aïn Boreq est un relief monoclinal, crêt d'une antiforme partiellement évidée par l'oued de Naqd Douch. Aïn Ziyada qui lui fait suite est une sorte de synclinal ou de synforme, à demi-perché. Douch plus à l'ouest est un front de bloc monoclinal dont le revers se subdivise en crêtes secondaires en raison de la rapide succession des couples RD/RT, liée à des redoublements de faciès par faille, grès sur marnes ou argilites (photo 14). Aïn Manawir est un bloc dissymétrique complexe, demi-horst que couronne un demi-volet synclinal dont le point culminant présente le profil particulier d'un sommet bicéphale.

Ainsi, chacune des buttes présente un dispositif particulier. Cette diversification s'explique toujours à partir d'un héritage structural. Les collines de la région de Douch doivent donc être comprises comme des reliefs tectoniques, qui ont évolué en inselberg de résistance (faciès d'induration d'origine tectonique à Douch et à Aïn Boreq) ou de position (bloc soulevé à Aïn Ziyada, Dikura et Aïn Manawir).

1.9 LE RÉSERVOIR HYDROLOGIQUE DE BARIS

À l'échelle du secteur Baris - Abou Bayan, supporté par le soubassement cristallin qui affleure au sud sous la forme de collines étroites, l'ensemble de la couverture sédimentaire a tendance à s'épaissir dans le quadrilatère limité en profondeur, au sud par la remontée du socle ; à l'ouest, par le haut-fond de Kharga ; au nord, par la dorsale qui entraîne l'amincissement des séries sédimentaires ; enfin, à l'est, par le dôme dit de Chephren, ou plate-forme du Nil supérieur [88]. Il en résulte la constitution d'une sorte d'« ombilic » structural qui peut jouer le rôle de piège hydrogéologique en profondeur (fig. 4). La subsidence de cette cuvette a fait gagner au cours de leur sédimentation de l'épaisseur aux séries lithologiques. Ces formations ont vu augmenter leur aptitude à devenir des aquifères, car les séries détritiques poreuses y représentent sur la totalité de la série lithologique les faciès les plus fréquents. Leurs multiples redoublements à l'intérieur de la colonne sédimentaire accroissent ainsi la perméabilité générale du système.

L'eau qui s'y trouve, pourrait dater pour sa plus grande part de la fin du Pléistocène (20.000 ans) [89]. Mais on peut penser que les nappes ont été à nouveau rechargées au cours de l'Holocène récent et, peut-être même, une fois encore, assez tardivement à l'époque historique [90]. Au vu du développement des *qanawat*, des nappes superficielles perchées ont dû en effet se constituer à l'intérieur même du volume rocheux, au temps de l'occupation de Kysis, à l'époque romaine. Ces nappes représentent donc un patrimoine non renouvelable car largement hérité. La question est de savoir à la suite de quelle conjoncture mésologique ? Mais auparavant, il s'agit de mesurer les conséquences hydrogéologiques de la disposition structurale.

Chaque ensellement qui sépare les collines est un site favorable à la constitution de nappes phréatiques inégalement profondes (photo 10). La nature des roches et leur disposition structurale commandent leur gisement. Des réserves peuvent se constituer lorsque les grès reposent sur les argilites et les marnes schisteuses ou lorsqu'ils constituent le faciès des zones broyées (cas de Douch et d'Aïn Manawir). De même, chaque linéament tectonique à bandes de broyage peut faire office de drain, quand le réseau vadose en grand commandé par la fracturation permet une bonne circulation interne de l'eau (front d'Aïn Ziyada). Un tel drainage est à l'origine des nappes phréatiques artésiennes, comme des réserves perchées, bloquées sur les faciès imperméables. Cette origine commandée par la fracturation du substratum se compare à celle des sources qui, en Méditerranée, jaillissent au pied de reliefs perméables en grand et cloisonnés par des bandes de broyage.

Cette similitude de situation a pu inciter à des travaux de captage de source par des tranchées, telles celles d'Aïn Manawir et de Douch ouest, et de drainage de nappe par des

[88] B. Issawi, *op. cit.*, 1982, fig. 6.3, p. 65 et R. Saïd, *op. cit.*, 1990, fig. 13.2, p. 252.

[89] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 606 ; G.W. Murray, « The Water beneath the Egyptian Western Desert », *GeoJourn* 118/4, 1952, p. 443-452, (p. 446-448, Kharga). T.A. Maxwell, P.L. Strain, « Report on Hydrogeological Investigations in Kharga and Dakhla Oases », *Publications de l'Institut du désert d'Égypte* 4, 1954, p. 209-214.

[90] H. Haas, « Radiocarbon Evidence for Holocene Recharge of Groundwater, Western Desert, Egypt », *Radiocarbon* 22/3, 1980, p. 705-717.

galeries souterraines, telles celles d'Aïn Ziyada et de Douch est et sud qui traversent les revers, ou telles celles d'Aïn Ziyada, Aïn Manawir, Dikura et Douch nord qui perforent les fronts des buttes. De pareils gisements caractérisent aussi les bandes de broyage, comme en témoignent les imprégnations ferrugineuses observées à Aïn Manawir (photo 16), à la base des versants à substrat écrasé.

Les couloirs situés entre les collines sont, en revanche, des sites de puits et des secteurs favorables à l'extension des oasis (Ezbet Douch). Cette localisation est définie par le compartimentage tectonique du substrat dont les faciès broyés ont pu être parfois exploités par des oueds [91].

Le fonctionnement artésien des puits suppose une localisation à la fois profonde et isolée des nappes. L'artésianisme se comprend dans le cadre des déformations gauches du socle, de l'évolution en relief inversé du dôme sédimentaire superficiel et du linéament décrochant qui a tranché la couverture sédimentaire, plus tardivement (fig. 8). Il n'explique pas toutes les sources des reliefs.

En fait, dans la région de Douch comme à l'échelle de la dépression de Kharga, la circulation de l'eau se montre soumise à deux dynamiques antinomiques. Les puits d'oasis sont alimentés par une montée d'eau à fleur de sol, conséquence d'une ascendance artésienne naturelle ou facilitée par l'homme avec ses forages de puits. Les sources des nappes hautes dépendent en revanche d'un écoulement souterrain oblique qu'utilisent les *qanawat*. La fissuration permet cette utilisation, d'autant plus que la roche est soumise à une mobilité tectonique de type extensif. Cette dynamique a pour conséquence d'élargir très lentement les fissures et de faciliter en profondeur la circulation de l'eau et des captures de nappes.

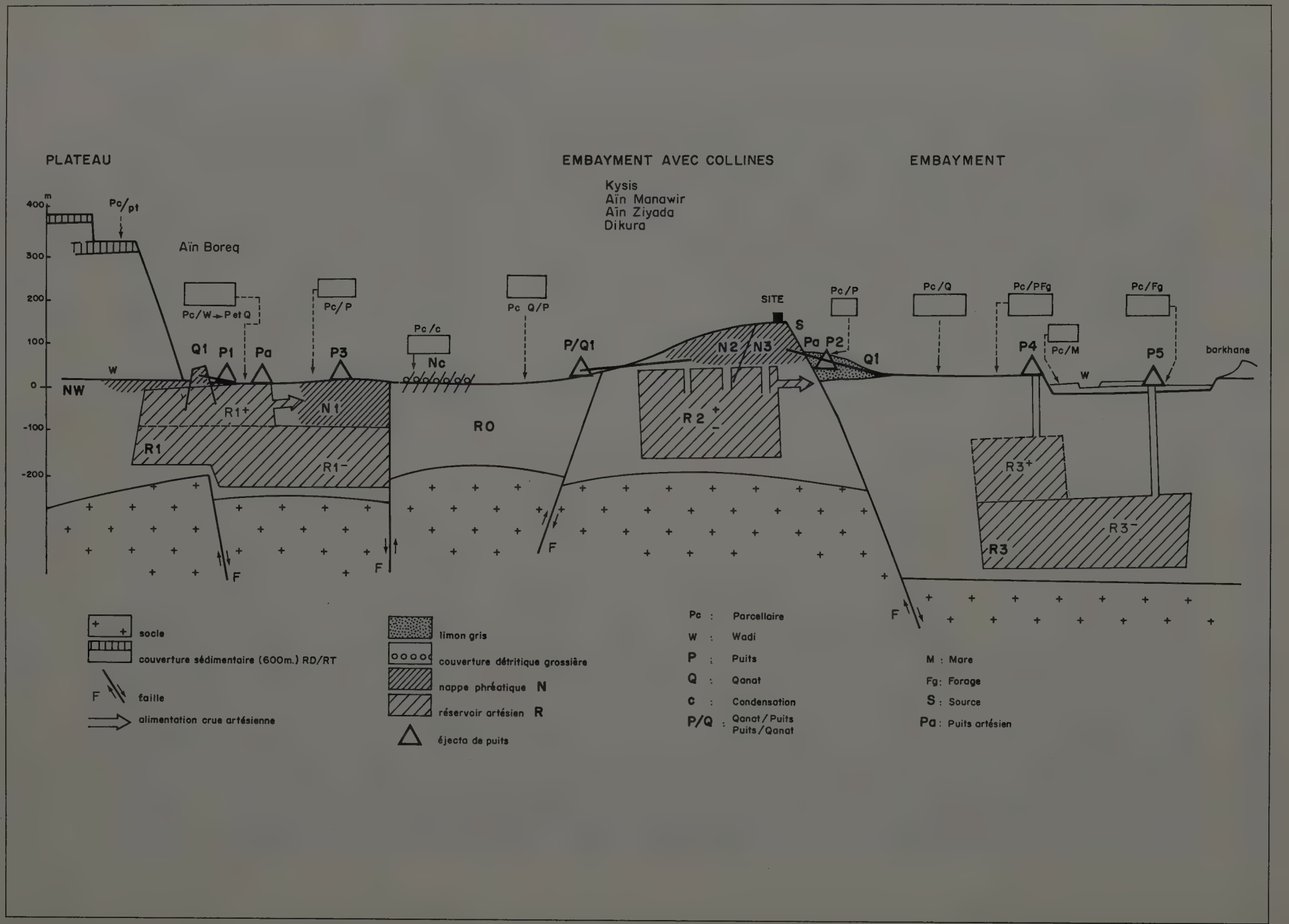
En fonction de la structure à l'origine des modes de gisement de l'eau, ces réserves de nature différente déterminent le site des oasis et l'emplacement des terroirs irrigués. Les unes dépendent d'une recharge nourrie par crue et débordement artésiens (fig. 9) ; les autres assurent leur renouvellement par les précipitations, pluies saisonnières et condensations nocturnes, et leur infiltration (fig. 10).

Le fonctionnement respectif de chacune d'elles dépend d'un débit et d'un régime que commandent la dynamique de l'alimentation des nappes et les fluctuations de la vidange des réservoirs. Dans le premier cas, la nappe est sensible aux variations annuelles de la pluviosité, donc au rythme de la recharge par infiltration, alors que, dans le second, elle s'en affranchit, puisque l'élaboration des réserves est due à la capitalisation de l'eau pour laquelle l'échelle de temps est d'ordre géologique. L'usage des nappes est déterminé par ce rythme diversifié, qui est en outre à l'échelle régionale sensible aux variations du flux hydrogéologique propre au substrat (fig. 10).

La richesse en eau relève ainsi de rythmes climatiques, inégalement récents. Elle est subordonnée aux fluctuations de la pluviométrie. Elle dépend aussi des caractéristiques structurales qui permettent le stockage de l'eau infiltrée. À Douch, le dispositif lithologique

[91] Cf. les images SPOT et le chapelet des oasis actuelles au sud de Douch installées dans le lit d'un ancien oued et les chenaux ramifiés de son cours amont.

FIG. 9. *Le compartimentage hydrogéologique. Rythmes mésologiques et géotechniques.*



I. Le système d'irrigation

1. R : réservoir hydrogéologique profond artésien.

R1 : réservoir de piémont.

R1 + : réservoir à son maximum (phase de débordement artésien) alimentant une nappe perchée.

R1 - : réservoir en phase de vidange accessible par captage pendant l'Antiquité.

R2 +/- : réservoir de colline en phase de crue (+), alimentant des nappes hautes ; en phase de vidange (-), mais accessible par drainage souterrain (*qanat*) pendant l'Antiquité et association de puits et *qanat*.

R3 : réservoir de plaine.

R3 + : réservoir de plaine en phase de crue, pouvant alimenter des mares.

R3 − : réservoir en phase de tarissement accessible par forage moderne.

R0 : absence de réservoir.

Le comportement des réservoirs est tributaire de la situation tectonique (compartimentage par faille plus ou moins étanche).

2. N : nappe superficielle.

Nw : nappe de ouadi (irrigation par crue étendue sur la basse terrasse).

N1 : nappe rechargée par les réservoirs artésiens dans le long terme d'une variation climatique (nappe haute de réservoir).

N2 : nappe sub-superficielle alimentée lors de la phase de crue dans le court terme de la variation climatique à son maximum.

N3 : nappe superficielle perchée, autonome du réservoir artésien, à recharge réalisée dans le court terme de la variation climatique à son maximum (recharge par infiltration).

Nc : nappe superficielle de condensations nocturnes.

3. P : puits artésien naturel et aménagé en puits d'irrigation.

Pa : puits artésien.

P1 : puits artésien actif dans le long terme de la recharge hydrogéologique.

P2 : puits artésien aménagé dans le court terme de la variation climatique.

P3 : puits de piémont actif dans le court terme de la variation climatique

P4 : puits de plaine actif au cours de la période de retrait accessible par la technique du puits foré antique.

P5 : puits de dépression (oasis) actif et accessible par la technique moderne.

4. Q : *qanat*.

Q1 : *qanat* autonome du puits, actif en régime de nappe perchée.

Q2 : *qanat* autonome actif en régime de nappe haute de réservoir.

Q/P ou P/Q : *qanat*/puits ou puits/*qanat*, équipements en phase, pendant une période de vidange rapide (seuil de rupture).

5. Pc : parcellaire de l'hydro-foncier.

Pc pt : parcellaire de pente à nappe éphémère.

Pc p1 : parcellaire de puits de seuil (périmètre hydraulique).

Pc p2 : Parcellaire de puits de piémont sur limon gris (enclos d'oasis).

Pc p3 : Parcellaire de puits de dépression sur nappe détritique.

Pc q : parcellaire de *qanat*.

Pc q/p : parcellaire de rupture (accentuation de l'aridité édaphique).

Pc w : parcellaire d'oued.

Pc m : parcellaire de mare en décrue.

Pc/c : parcellaire de condensations nocturnes.

II. Rythmes mésologiques et rythmes géotechniques

1. Rythmes mésologiques : aridification du climat interrompue par un épisode plus humide.

Phase humide longue	Phase aride	Phase humide courte	Phase aride
Recharge des réservoirs	Vidange du réservoir	Recharge des nappes de surface	Vidange des nappes et des réservoirs

2. Rythmes géotechniques : aridification continue avec vidange progressive, apparition d'un seuil de parade technique (*qanat*/puits), puis d'un seuil de rupture technique : tarissement des puits.

Phase pluviale	Phase aride	Phase aride avec oscillation humide	Phase aride	Phase aride
Écosystème humide	Écosystème xérique	Géotechnie antique Écogéographie xérique corrigée par les puits et *qanawat* d'œkoumène	Écosystème xérique Abandon des sites	Géotechnie moderne Écogéographie xérique corrigée par les forages modernes

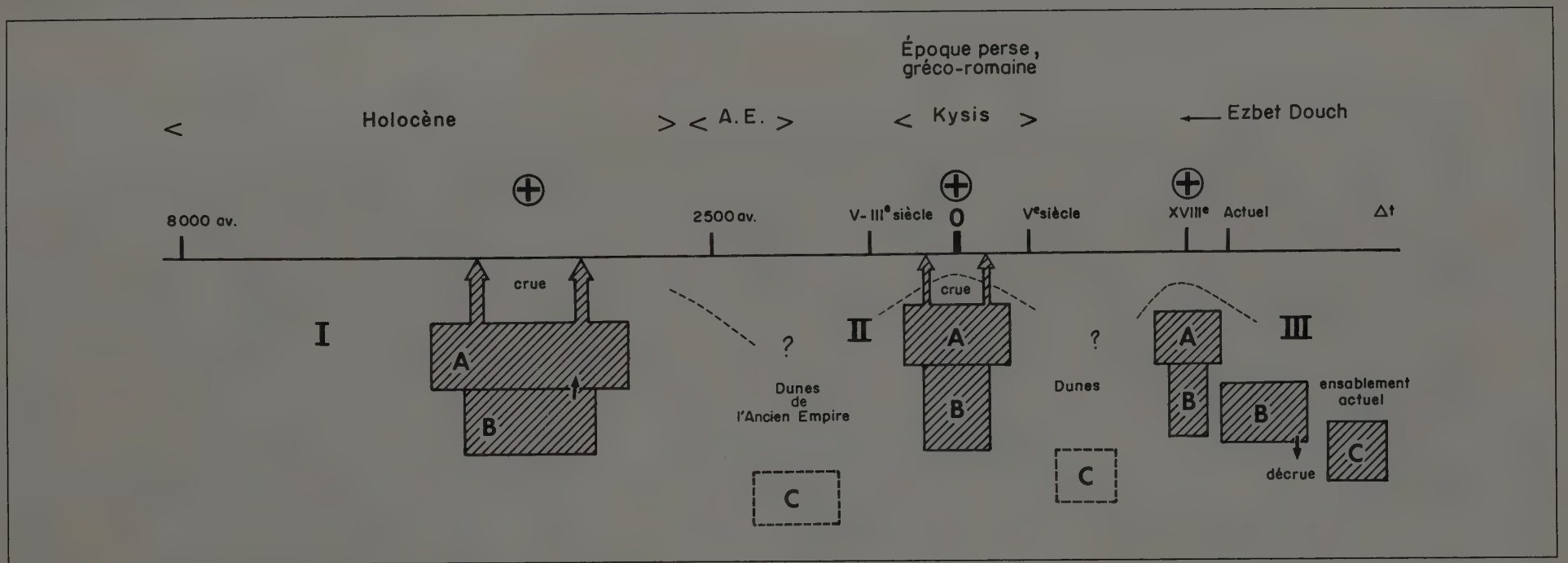


FIG. 10. *Fluctuation des nappes dans le temps.*

I = Première période.
A = artésianisme de seuil = sources artésiennes.
B = artésianisme de plaine = puits artésiens.

II = Deuxième période.
A = artésianisme de seuil par recharge des nappes superficielles.
B = artésianisme de plaine.

III = Troisième période.
C = forage profond moderne.

+ = Optimum climatique et modification de la courbe de tarissement, relance de l'artésianisme des puits de seuil (Dikura), à la suite d'une période d'optimum climatique, après 500 av. J.-C.

+ = Optimum climatique du petit âge de glace : dunes à tamarix du XVIIIe siècle.

— Courbe climatique

On observe sur le long terme la dissociation des nappes en raison de l'assèchement progressif des zones supérieures des nappes. On peut y voir également l'influence du régime en extension des fissures. Il provoque le captage des écoulements d'une nappe à l'autre et leur tarissement.

et tectonique (fig. 2, 3, 4) concourt à faire de l'embayment un lieu potentiel, géométriquement propice à ce stockage en raison de la diversité des types de réservoirs et du volume de leurs réserves. Leur capacité respective commande l'extension des parcellaires qui s'est montrée fluctuante au cours de l'histoire pour des raisons qui ne seraient donc pas uniquement d'ordre anthropique. Un terroir possède de ce fait une signification écogéographique, fondée sur les notions d'efficience, d'efficacité et de déficience de l'écosystème et sur l'influence des conditions morphostructurales confrontées aux données du milieu (fig. 9).

De la sorte, le fonctionnement hydrogéologique se comprend à l'intérieur d'un système qui associe à l'écoulement hydrique et aux ouvrages pour l'irrigation le point d'eau ou la source (entrée) et le terroir avec ses parcellaires (sortie) (fig. 11). Dans ce type de configuration, les liaisons ont le rôle principal. Le rendement du système hydraulique dépend, en effet, de l'écoulement qui le relie à la source ; mais la rentabilité du terroir est soumise au débit que fournit le réseau des ouvrages. On peut distinguer au moins trois cas de figure qui traitent de la compatibilité de ces différents éléments à l'intérieur de cet ensemble (fig. 11).

Dans le premier cas, l'installation d'un terroir souffre de la sévérité des données du milieu qu'aménagent les communautés rurales du moment. Mais son déploiement s'en libère par l'intermédiaire de son système d'alimentation en eau (puits artésien d'oasis). Le terroir est conditionné par les caractéristiques mésologiques, car les facteurs structuraux se révèlent capables de soutenir le rendement le meilleur (notion d'efficacité écogéographique des données structurales).

L'aménagement peut se révéler inadapté. Sa réalisation s'avère risquée bien que soutenue par des techniques parfois étrangères, mais apparemment bien adaptées, comme celle des *qanawat*. En fait, ces moyens transposés se révèlent à la longue inadaptés aux conditions mésologiques du lieu devenues différentes, alors qu'au départ, les équipements paraissaient tellement en accord avec les caractères hydrogéologiques de l'endroit, considérés très voisins de ceux des lieux d'origine, soit un relief et son piémont, si on admet pour les *qanawat* une origine exclusivement iranienne. L'implantation du terroir, d'abord réussie, car en accord avec l'efficience des éléments structuraux, se réalise, de fait, si indépendamment des conditions mésologiques plus sévères du moment, qu'il périclite en raison de leur inefficacité (notion de déficience mésologique). Les facteurs structuraux deviennent inefficients, car l'enveloppe lithosphérique n'assure plus leur efficacité hydrologique.

Un troisième cas existe à données structurales et mésologiques égales, dans le temps du moment considéré. L'aménagement des terroirs se développe dans l'ignorance des modifications du milieu parfois radicales qui ont pu déjà survenir (effet d'hystéresis ou de retard). Il profite de conditions qui, autrefois propices à l'élaboration de la ressource, ne le sont plus pour une utilisation désormais pratiquée dans un milieu contraire ou plus hostile. Un terroir peut être ainsi mis en valeur, à partir de réserves hydriques dont le rechargement n'est plus assuré régulièrement. L'abondance en eau liée à l'efficience des facteurs structuraux compense, momentanément, des conditions mésologiques déficientes. La réussite s'appuie sur un éventail de techniques dont la rentabilité a été éprouvée. La diversité de ces dernières s'explique par les influences culturelles, soit locales, soit lointaines dont

FIG. 11.

LE SYSTÈME ÉCOGÉOGRAPHIQUE

Entrée	Liaison	Système	Liaison	Sortie
Données mésologiques internes	Écoulement. efficient efficace	Écoulement hydraulique : puits-*qanat* réservoir réseau	Débit : efficient efficace	Terroir : régime et débit arrosage

ÉCOGÉOGRAPHIE

Rentabilité en fonction des liaisons et de leur qualité : efficiente-efficace-déficiente.

Premier cas

Facteurs mésologiques internes positifs.			Facteurs mésologiques externes positifs.	
Source	Écoulement efficace	Système des puits	Débit efficace	Parcellaire
Artésianisme : circulation vadose			Chenal d'écoulement	

Deuxième cas

Données hydro-géologiques positives. Avantage			Conditions mésologiques négatives. Danger	
Source	Écoulement efficient	Système	Débit : efficace	Parcellaire
Drainage souterrain			Canalisation	
Risque				

Troisième cas

Danger				
Facteurs mésologiques internes négatifs.			Facteurs mésologiques externes négatifs.	
Source	Écoulement déficient	Système	Débit efficient	Parcellaire
Tarissement			Parade technique : puits + *qanat*	
Changement mésologique global : catastrophe pour le milieu et risque pour l'œkoumène				

elles sont issues, puits du système oasien, *qanat* du domaine iranien. Mais le transfert de ce dernier système hors de son milieu d'origine [92] vers un milieu certes aride, mais différent, a développé dans ces nouvelles conditions limites un aménagement en quelque sorte hors site, qui a fini par acquérir une position critique, car en situation de rupture déterminant un aménagement-critique de rupture. L'utilisation concomitante et autonome, puis conjuguée des puits et des *qanawat*, – puits de *qanat* et *qanat* de puits –, connue dans la région de Douch, semble le suggérer. Cet usage introduit le concept de limite d'œkoumène installé sur un front dynamique de nature.

Si les conditions structurales peuvent rendre totalement indépendant des facteurs climatiques le développement des terroirs, elles n'assurent pas la permanence de la ressource et elles ne prémunissent pas contre le tarissement inopiné des réserves hydrogéologiques, en fonction du rapport efficience/efficacité des conditions structurales. Cette défaillance sera d'autant plus catastrophique qu'aucun apport hydrique d'origine climatique ne viendra assurer le complément salvateur, en raison de la déficience des conditions mésologiques du cycle de l'eau.

À toutes les échelles de la dépression, les facteurs structuraux sont ainsi à l'origine d'une situation de tout ou rien. D'abord, le fonctionnement artésien des nappes en résulte. Ensuite, l'emplacement des sources reste déterminé par la fracturation qui accompagne le décrochement (fig. 5 et 6). Ce dernier ajoute la constitution d'un faciès broyé, nécessaire à l'élaboration des nappes hydrogéologiques superficielles.

L'association de ces données morphostructurales conduit à localiser les sites les plus susceptibles à emmagasiner l'eau. Elle explique qu'un lieu en apparence apte à accueillir un établissement et ses parcellaires se révèle stérile de toute occupation humaine, malgré la présence de terre arable. On le justifie par la carence de telle ou telle condition, soit parmi d'autres, le trop grand espacement des fractures ou la trop faible épaisseur des grès (porosité).

Les modes de captage de l'eau le corroborent. Ils indiquent qu'une distinction est à établir au sein des nappes souterraines, entre celles d'ordre hydrogéologique, même si elles sont peu profondes et celles d'ordre phréatique, superficielles et perchées, d'origine climatique, mais aussi parfois en partie de nature artésienne, nourries alors par la crue de nappes à leur niveau maximum, héritées cependant de périodes antérieures plus humides (fig. 9).

L'aménagement peut ainsi échouer, mal servi, à toutes les échelles du paysage, par ces conditions nécessaires, mais souvent incomplètes et, de surcroît, insuffisamment impliquées dans l'évolution et l'histoire récente de ce milieu désertique (fig. 10 et 12). L'échec résulte paradoxalement d'une mauvaise prévision plutôt que d'une trop bonne prédiction. Le gisement d'eau est repéré en surface par d'incontestables figures qui signalent les sources artésiennes. Par elles, la ressource peut être située avec précision ; en revanche, le volume disponible reste difficile à prévoir.

[92] Ce système, certes de région sèche mais dans un cadre montagnard, fonctionne à des latitudes plus septentrionales et plus fraîches grâce au rechargement annuel des nappes de piémont qu'il exploite.

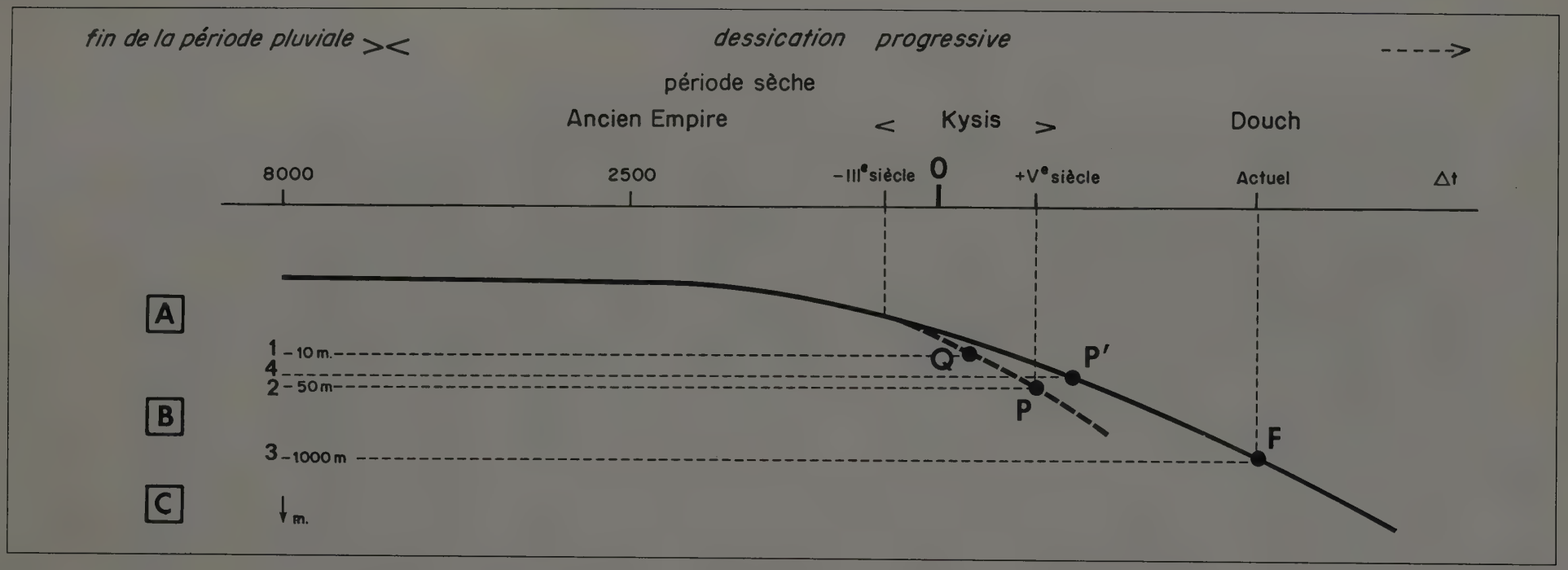


FIG. 12. *L'assèchement des nappes dans le temps.*

Réserves hydrogéologiques profondes et superficielles.
A. Artésianisme de seuil au maximum de la crue.
B. Artésianisme de plaine à l'époque de l'abandon (forage antique).
C. Pompage par forage actuel.

1. = Q = niveau des réservoirs des *qanawat* et des puits de seuil.
2. = P = niveau des réservoirs des puits de plaine.
3. = F = niveau des forages actuels (1000 m).
4. = P' = position de la nappe exploitée par puits, si les *qanawat* n'avaient pas été utilisés.

-- Courbe de tarissement naturel.
--- Courbe de tarissement accentué par l'utilisation anthropique.

Le schéma montre des conditions mésologiques encore favorables au moment de la fondation de Kysis, et la détérioration de la situation après l'emploi des *qanawat*. Tout se passe comme si la courbe de tarissement recoupait plus tôt dans le temps le toit des nappes affectées d'un lent mouvement d'abaissement accéléré par l'usage anthropique.

Dans ce milieu pour lequel les moyennes n'ont pas de sens, et tout écart par rapport à ces dernières non plus, la possibilité de disposer de l'eau en suffisance ne peut pas être évaluée. Dans cette perspective, sur les marges de l'œkoumène, une modification mineure des conditions mésologiques se traduit dans le domaine écogéographique, en terme de tout ou rien et non de probabilité (fig. 12).

Ces situations obéissent à des temporalités différentes dont la somme permet de comprendre l'abandon du site. Au rythme du climat, il faut en effet ajouter le temps d'écoulement de l'eau dans la roche et le temps de l'épuisement des réservoirs. Des temporalités qui n'ont pas la même durée, la première est d'ordre climatique et les deux suivantes sont de nature tectonique. À ces durées, il faut ajouter celle liée à la technique utilisée par les sociétés oasiennes. Les premières à rythme lent et de surcroît mécaniquement ralenti par la roche sont confrontées au rythme plus rapide qu'impose la dernière dont l'objectif est l'exploitation des ressources. À ces types différents de temporalités sont liées les notions écogéographiques d'efficience, d'efficacité ou de déficience du système hydraulique. Ces temporalités s'inscrivent dans l'espace selon la vitesse de leur mobilité. L'abandon échelonné des sites en rend compte.

En conséquence, le cadre morphoclimatique qui est en partie à l'origine de ces distinctions rythmiques, ne peut être défini que par l'intermédiaire des formations superficielles. Ces dépôts corrélatifs expliquent la dynamique hydrogéologique de la région de Douch, et plus largement celle de l'aquifère des grès de Nubie que découpent les accidents tectoniques récents guinéo-nubiens [93].

[93] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, chap. 28, p. 601-611 et fig. 8.3, p. 115.

DEUXIÈME PARTIE

LES DONNÉES GÉOMORPHOLOGIQUES, LA TERRE ARABLE, LES NAPPES PHRÉATIQUES ET LEURS AFFLEUREMENTS

Les témoins de la mise en valeur de cette portion du désert se trouvent à la surface des nappes détritiques de la plaine, autour des buttes et des seuils surbaissés couverts de limons éoliens, et plus rarement établis sur les dépôts alluviaux au front de la hamada. Menée à partir de puits, la colonisation de la contrée fut conduite également à partir de drains souterrains, les *qanawat*, en relation avec la fracturation et le faciès poreux du grès, la roche magasin.

Ces vestiges [94] permettent de déterminer les sites pourvus de terre arable et de nappes phréatiques. En fonction de leurs types et de leurs affleurements, les formations superficielles les localisent très étroitement.

2.1 LE MODELÉ

Le modelé s'inscrit à l'intérieur d'un relief qui associe un plateau et une dépression. Trait particulier à l'ancien territoire de Kysis, des blocs soulevés à regard nord accidentent la plaine [95] et compartimentent l'embayment de Baris. Caractéristique des déserts de plateforme sédimentaire, ce dispositif qui a facilité le développement d'un piémont d'accumulation à l'articulation du plateau et de la dépression résulte d'une inversion de relief. L'ancien dôme morphotectonique est devenu une boutonnière, qui correspond à la dépression de Kharga (fig. 1 et 8). Ainsi à toutes les échelles du relief observe-t-on un compartimentage du bâti lithologique qui localement fractionne la nappe phréatique de cette portion de l'Afrique [96].

[94] Les principaux sont les terroirs des habitats de la dépression, les points d'eau aménagés des reliefs, le parcellaire d'oued d'Aïn Boreq, les barrages de pente et les pistes multiples de bêtes à sabot du Naqb Douch.

[95] De tels alignements sont reconnus plus au nord entre Boulaq et Kharga, commandés par des linéaments tectoniques selon une orientation méridienne.

[96] T. Littmann, « Spatial Patterns and Frequency Distribution of Late Quaternary Water Budget Tendencies », *Catena* 16/2, 1989, p. 163-188.

Mais à l'intérieur de ce relief, les formes et les formations superficielles [97] à l'origine des colorations variées du désert actuel, relèvent de systèmes morphogéniques récents et plus anciens. Le vent en fut toujours l'agent le plus actif. Cuvettes de déflation, dunes vives très mobiles, dunes d'accumulation et figures de corrasion en témoignent. En revanche, le ruissellement sur les pentes et l'écoulement concentré dans les drains se révèlent les processus les plus inopérants de nos jours.

Antérieurement, il en fut autrement pour le plateau et son piémont. Gorges de l'entablement calcaire, ravins des talus en roche tendre, paquets glissés des corniches des fronts, couvertures détritiques des pentes de raccord, cônes-glacis étagés et incisés du piémont, nappes alluviales des très basses terrasses, décharges de crues et cônes d'épandage le prouvent. Ce modelé aux familles de formes multiples et emboîtées en contrebas de la hamada n'est le plus souvent qu'un héritage oblitéré par un ensablement progressif qui envahit ou atténue pentes, corniches, versants des vallées encaissées, ravins et lits d'oued (photos 20, 21).

La plaine d'épandage de Douch dans l'embayment de Baris, n'échappe pas non plus à cette évolution qu'accuse une aridification de plus en plus poussée. La dépression largement ouverte à l'écoulement éolien demeure un héritage pour les débits actuels du vent. Guidés par les limites des cônes-glacis qui dominent les dépôts récents et par celles de l'encadrement morphostructural qui les contraignent, les courants éoliens ont modelé le fond de la dépression au gré d'itinéraires déterminés par la topographie. L'engraissement arénique de la dépression de Kharga s'est ainsi poursuivi pendant l'Holocène, par rupture de charge. Balayée par le vent, la dépression dérive en fait de glacis. Taillés dans les schistes argileux, ces vastes plans sont recouverts par des couvertures sableuses stables, rousses et ocres, à pédogenèse incipiente ancienne, ou par des nappes aréniques, jaune pâle, mobiles et à vif. De cette morphogenèse à cycles très courts, de quelques jours, d'une saison, procèdent des formes constamment remaniées. L'apport de l'étude de leurs séquences sédimentaires est limité par la très grande rapidité et la fréquence très brève de leur mise en place. Toutefois l'organisation, la structure et la composition pétrographique de ces dépôts restent les indicateurs précieux de la nature de l'écoulement qui les a produits. Suivre la transformation progressive du milieu à partir de ces sources documentaires diverses et apprécier le contrôle des énergies du vent par le relief permettent de comprendre la mobilité du paysage.

S'y rencontrent aussi des croûtes de gypse et d'autres dépôts chimiques. Également hérités pour la plupart d'entre eux, comme l'indiquent leur mise en relief, le lustrage de leur surface et leur fossilisation progressive par le sable (photo 1).

Cette morphologie de l'embayment est acquise depuis peu. La plaine de Douch fut, en effet, traversée par un réseau d'oueds dont le chevelu disparaît sous les recouvrements sableux (photo 10). Sans parler des glissements cantonnés au front des corniches (photo 18), au pied de la hamada ou à la limite aval du piémont, on observe des décharges volumineuses de crue qui ont étalé la masse de leur matériel sur les basses terrasses inondables des oueds, telle celle du parcellaire d'Aïn Boreq (photo 12), ou sur les planchers alluviaux

[97] Pour tout savoir sur les formations superficielles, cf. M. Campy, J.-J. Macaire, *Géologie des formations superficielles. Géodynamique-Faciès-Utilisation,* Paris, Masson, 1989.

de vallées similaires, situées plus au sud (photo 22). De même, des chenaux d'écoulements torrentiels, des bourrelets de décrue et de petits cônes de bas de pente s'observent, parfois si frais que le sable n'a pas encore oblitéré leurs contours (photo 23).

Depuis ces épisodes, devenues arides et touchées par des précipitations aléatoires, les pentes du modelé sont soumises à l'action dominante des processus de la désagrégation mécanique. De la sorte, dans toutes les formations superficielles inventoriées, les faciès détritiques dominent-ils, comme le constate par ailleurs toute première observation de cette fraction de désert.

À ces modelés diversifiés, qui au cours du Quaternaire [98] relèvent de climats successifs et différents, tantôt humides, tantôt secs, il faut ajouter un ensemble de buttes profilées par le vent, appelées yardangs [99], (photos 15, 19). Ces monticules ont été façonnés aux dépens d'un matériel gris-olive d'origine éolienne, en partie ruisselé et accumulé dans des mares épisodiques (faciès de playa [100]). Attaché à des niveaux de base locaux, le sédiment fossilise chacune des collines dissymétriques ou bien se cale à la base de chaque front de la hamada. Témoins d'un dépôt épars [101] et en cours de disparition, ces faciès sont à l'origine de la terre arable des parcellaires (photo 5). Aussi leur localisation présente-t-elle de l'intérêt pour la prospection archéologique [102].

La répartition de ces couvertures détritiques n'est donc pas quelconque. Elle obéit aux trajets des écoulements hydriques ou éoliens. La spatiocarte précisera une première classification. [Voir tableau 1 ci-après].

Actuellement, le vent chargé de sable abrase, décape, griffe et révèle, érode, commande l'aspect du paysage. La comparaison de la granulométrie de sédiments pris à des formations superficielles différentes révèle sa tyrannie sur le matériel déposé ou remanié qui les composent [103]. [Voir tableau 2 ci-après].

[98] C.V. Haynes in F. El-Baz, T.A. Maxwell (éd.), *Desert Landform of Southwest Egypt, a Basis for Comparison with Mars*, NASA CR 3611, 1982, ch. 9, p. 91-117, 22 fig.

[99] J. Dresch, « Reconnaissance dans le Lut (Iran) », *BAGF* 429-430, 1968, p. 143-153 et J. Dresch, *Géographie des régions arides*, Paris, 1982, et plus particulièrement p. 111-112.

[100] J. Dresch, *op. cit.*, 1982, p. 70-73.

[101] La description en a été faite pour la première fois par H.J.L. Beadnell, *An Egyptian Oasis: An Account of the Oasis of Kharga in the Libyan Desert, Egypt*, Londres, 1909. Leur origine a fait l'objet d'une discussion par G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, « The Prehistoric Geography of Kharga Oasis », *GeoJourn* 80/5, 1932, p. 369-409, photo 3 et 4, qui donna lieu à une réinterprétation par H.J.L. Beadnell, « Remarks on the Prehistoric Geography and Underground Waters of Kharga Oasis », *GeoJourn* 81/2, 1933, p. 128-134. Voir également, L.W. Collet, « L'oasis de Kharga dans le désert Libyque », *AnGeo* 198, 1926, p. 528-535, qui donne des analyses du matériel. Leur cartographie très générale est présentée par N.S. Embabi, « The Semi Playa Deposits of Kharga Depression, the Western Desert, Egypt », *BSGE* XLI-XLII, 1971, p. 73-87, fig.1, p. 77. Il s'agit des plaines d'Umm al-Dabadib, de Sherika et ses annexes au nord de Kharga, de celles de Baris et de Douch pour le sud et de la plaine de Zayat entre Kharga et Dakhla, toutes contrées dont nous avons connaissance. La cartographie la plus récente à l'échelle du désert libyque se trouve in R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 494, fig. 25.4.

[102] Importance également reconnue par C.V. Haynes, *op. cit.*, in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982.

[103] Le traitement a été effectué par Mme Kuzucuoglu, UA 0141 CNRS. Le matériel a les caractéristiques des sables de la dépression de Kharga : T.A. Maxwell, « Sand Sheet and Lag Deposits in the Southwestern Desert », p. 157-173 et F. El-Baz, « Coatings on sand Grains from Southwestern Egypt, » p. 175-188, l'un et l'autre in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982.

Écoulement éolien aréolaire	Écoulement hydrique aréolaire	Écoulement hydrique linéaire
Cuvette de déflation.	Glacis.	Gorges.
Figures de corrasion.	Couvertures des glacis de piémont.	Ravins des talus.
Buttes profilées et yardangs.	Nappes détritiques de ruissellement sur les pentes.	Rigoles des pentes.
Dunes d'accumulation, tertres phytogéniques et nebkas.	Paquets glissés des fronts d'escarpement.	Chenaux des oueds.
Dunes vives : *barkhanes*.	Pédogenèse, altération physico-chimique.	Nappes et terrasses alluviales.
Nappes sableuses à rides.	Dépôts chimiques des mares et cuvettes (playa).	Bourrelets et décharges alluviales de crue.
Regs à la surface des épandages et des dépôts détritiques.	Dépôts de décantation des playas. Ejecta des puits artésiens.	Cônes d'épandage.

TABLEAU 1. *Le modelé. Formes et formations.*

TABLEAU 2. *Les sédiments éoliens.*

Classes granulométriques	> 2 mm	2 mm-50 µ n	< 50 µ n
Sédiment de dune avec artefact Ancien Empire	5 %	43 %	52 %
Idem	—	58 %	42 %
Idem	0,5 %	60 %	39,5 %
Sédiment d'une accumulation fossilisant un mur	—	83 %	17 %
Sable fossilisant la fosse du *qanat* nord de Kysis	—	65,5 %	34,5 %
Sable dans le conduit du *qanat*	2,3 %	36,2 %	61,5 %
Sable transporté par le vent chasse-sable actuel	—	93,7 %	6,3 %
Sable déposé sur une méga-ride	1 %	92 %	7 %
Sable de méga-ride	5 %	51 %	44 %
Aïn Boreq, sédiment d'un casier d'irrigation à sa surface	7 %	58,5 %	34,5 %
Idem à -20 cm.	1 %	63 %	37 %
Sédiment transporté par le vent et ruisselé d'un hydragogue	—	69 %	32 %
Sédiment ruisselé et vanné d'une butte profilée	—	5 %	95 %

Les formations superficielles à matériel très fin apparaissent donc la caractéristique essentielle du milieu pour déterminer la localisation des terroirs. De ce fait, les sédiments les plus susceptibles à devenir leur terre arable à cause de leur granulométrie seront-ils plus précisément situés. Leur répartition sera définie par l'intermédiaire d'une spatiocarte (pl. I et III). En s'appuyant sur l'extension de ces dépôts nécessaires à l'établissement des parcelles, le document permet à l'intérieur du relief et du modelé désertique de préciser l'emplacement des lieux susceptibles de fixer un habitat.

Ainsi l'environnement des sites s'explique-t-il à partir des morphogenèses successives spécifiées par la géomorphologie comme à partir des équipements d'irrigation, des parcellaires et de leur état de conservation. Aux oasis de cette époque s'associait en effet une campagne irriguée par de nombreux points d'eau et par de multiples ouvrages hydrauliques sans doute alimentés par une humidité plus régulière. L'histoire des sites est étroitement associée à celle des fluctuations climatiques fines.

À l'intérieur de ces finages, certains dépôts présentent un faciès d'altération pédologique. Cette évolution physico-chimique suppose la présence d'une couverture végétale ouverte. En contrepartie, les formations dunaires qui correspondent à cette période, sont en revanche difficiles à déterminer, peut-être en raison d'un affaiblissement momentané de la dynamique éolienne, pourtant si constamment caractéristique du Sahara oriental aride [104]. Cette absence apporte indirectement la preuve de changements qui ont conduit à une aridification plus grande du milieu, en fonction d'une chronologie qui peut être établie à l'échelle de la dépression de Kharga.

Dans ces conditions, les dépôts revêtent une signification éco-géographique. Ils appartiennent à un milieu physique et humain qui associe les données de l'environnement et les effets de l'œkoumène qui y a été aménagé et dont les limites s'inscrivent à l'intérieur d'un territoire voulu. Les oasiens n'ont jamais contrôlé la dynamique que libère le désert. Des pistes permettent pourtant de s'aventurer au sein même de son étendue et de traverser ce front naturel. Elles étaient cependant rares car le désert sableux ne se laisse franchir que par des caravanes marchandes (piste Al-Arba'in) ou par des troupes d'États à la recherche de territoires nouveaux (Perse et Rome). La société paysanne peu à peu colonisa cependant de petits secteurs. Groupée autour des points d'eau, implantant dattiers et oliviers, elle installa ses parcellaires céréaliers, ses jardins, et fixa ses habitats aux marges que le désert tolère. L'introduction de nouveaux systèmes de colonisation des sols et une occupation plus rationnelle de l'espace à partir d'un réseau d'itinéraires jalonnés de postes militaires accompagnent ces transformations à l'époque romaine. Le désert toujours aussi âpre voit se multiplier des étendues arborées et cultivées. Mais les *qanawat* ajoutés aux puits vont changer la dynamique de l'eau. L'importance de cette mise en valeur relativise les travaux actuels ou fait douter de la modernité de leur conception que sert cependant une technique plus performante.

On comprend ainsi que l'étude des couvertures détritiques et superficielles associée aux formes revêt une signification qui dépasse leur simple détermination et leur définition morphoclimatique.

[104] H.J. Pachur, « Climatic history in the Late Quaternary in Southern Libya and the Western Libyan Desert », *The Geology of Libya* III, Part 5, « Geomorphology and Quaternary Geology », Londres, 1980, p. 781-788.

2.2 LA GÉOMORPHOLOGIE DU SECTEUR DE DOUCH

Les formes observées (fig. 13) dépendent d'agents morphogéniques dont les périodes d'activité s'excluent. Bien que chacun d'entre eux relève de dynamiques différentes, il est difficile de préciser le début de leur action comme le rythme de leur alternance, tant le travail du vent se montre récurrent.

La diversité de son action et la superficie de son lit d'écoulement [105] indiquent par quelles fréquence et ampleur s'impose son rôle dans l'évolution du modelé, tout à l'opposé du rôle si sporadique et si accidentel de l'eau.

2.3 LE PAYSAGE DU MODELÉ ÉOLIEN. FORMES ET FORMATIONS

Ce modelé se développe aux dépens d'un stock de sable qui associe des formes d'accumulation stables, les nebkas, et des amas très mobiles, les *barkhanes*. Ces dunes constituent les aspects les plus évocateurs, si ce n'est les plus spectaculaires, d'une région aride. L'action du vent se définit aussi par de multiples formes d'abrasion et de corrasion d'échelle moindre, mais qui aux dépens du substrat expriment autant l'action si persistante de la dynamique éolienne.

2.4 LES FORMES D'ÉROSION

Ces formes s'observent à toutes les échelles du paysage. À grande échelle, les plus communes, déchaussement et ensablement des plantes, résultent de la déflation exercée aux dépens de la végétation ; d'autres aussi courantes, regs de surface et cuvettes de déflation, se développent aux dépens des formations meubles et des substrats tendres. À une échelle plus petite, de nouvelles et différentes figures relèvent de la corrasion éolienne qui attaque les roches résistantes, rainure les surfaces calcaires de la hamada et les crêtes en grès des collines, encoche et abrase les flancs des yardangs.

Leur présence indique que les formes d'accumulation y sont donc temporaires. La dépression de Kharga est une zone de déficit sableux. La position de la contrée l'explique, puisqu'elle est située au départ des vents de NNE émis par les vastes cellules giratoires orientales du Sahara, que commandent les anticyclones tropicaux [106].

[105] Cf. *infra* le traitement supervisé des images SPOT du 19 mars 1989 et du 28 juillet 1990. À l'échelle de l'Égypte occidentale, le lit d'écoulement est présenté par F. El-Baz, R.W. Wolfe, « Wind Patterns in the Western Desert » in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, chap. 10, p. 119-139.

[106] Cf. les représentations tirées de la simulation de la résultante des vents proposées par F. El-Baz, R.W. Wolfe in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit*, 1982, fig. 10.7, 10.8 et 10.9.

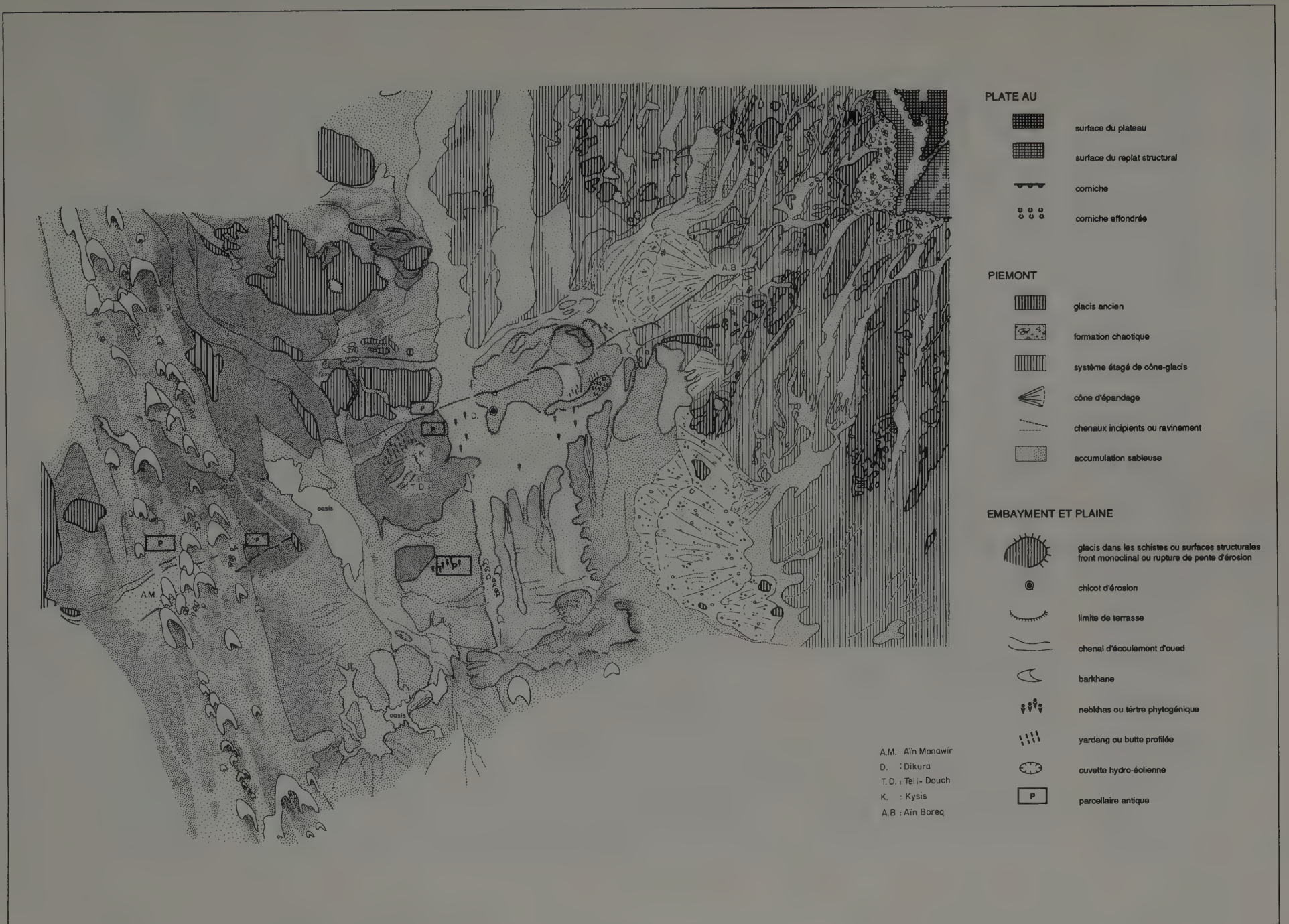


FIG. 13. *Carte géomorphologique de la région de Tell-Douch.*

La trace de ces courants abrasifs s'observe sur les images SPOT grâce aux traînées plus blanches qui marquent la surface des lanières de glacis ou les planchers alluviaux des oueds. Elle transcrit l'empreinte d'une énergie constante appliquée à leurs faces en fonction d'échelles de temps diversifiées par la topographie.

2.4.1 LE DÉCHAUSSEMENT DES PLANTES ET LEUR ENSABLEMENT

Le déchaussement des plantes traduit au sol l'intensité locale de la déflation éolienne, en particulier à l'intérieur des couloirs interdunaires et des ensellements qui séparent les buttes (photo 24). Et d'autant mieux que, méridiennes, les dépressions canalisent les vents dominants, comme le souligne le port en drapeau des buissons épineux et des tamarix placés dans le lit de leur écoulement [107]. En outre, les fourrés de végétation entraînent l'apparition de cuvettes ou de dépressions de déflation, comme celles observées autour des palmiers isolés, à l'est de Douch.

L'appareil supérieur de certaines plantes buissonnantes rongé par le vent et le sel prend alors l'aspect d'un cep. La répartition des tiges simule parfois un vignoble abandonné, d'une manière d'autant plus fallacieuse qu'un site antique peut se trouver à proximité et que les *ostraca* signalent la culture de la vigne.

De même, les buttes de tamarix aux racines déchaussées, présentes à Douch et à Dikura, sont-elles considérées comme des nebkas en voie de destruction. Elles attestent une reprise de l'ablation (photo 24), liée à l'accentuation récente de l'aridité puisqu'on daterait, à Boulaq, la constitution de certains de ces tertres phytogéniques du XVIIIe siècle [108].

Cependant, des plantes arrivent à subsister au sommet de petits monticules sableux grâce à leurs longues racines ; c'est le cas pour *Alghi maurorum*, nourriture des chameaux, dont les racines sont capables d'atteindre 7 à 8 m de long pour puiser en profondeur l'eau douce nécessaire à sa croissance [109]. De même, un couvert plus dense entraîne l'ensablement du pied des plants.

Cet ensablement qui accompagne la déflation comble, à une échelle supérieure, les couloirs topographiques ou atténue le bas de pente des reliefs encore piquetés de végétaux morts. Cet ensevelissement progressif traduit l'activité continue du vent et le déplacement constant du sable le plus fin. Il prouve que le sable est aujourd'hui une menace permanente. Dans les oasis, les puits et les parcelles sont protégés par des haies de palmes ou des murs de terre. La rapidité de cet ensablement est déduite de l'état des parcelles à l'abandon autour de Douch ou du puits sud de Tell al-Dabba al-Sharqiyya. Leurs surfaces, pourtant cultivées il y a encore un demi-siècle, sont désormais couvertes d'une couche de 2 à 3 cm de sable.

[107] Les courants se repèrent dans le paysage aux couloirs de déflation si visibles sur les images SPOT.

[108] D. Busche, « Post-Neolithic Changes of Aeolian Morphodynamics in the Kharga and Toskha Depressions, Southern Egypt », *BSGF* IV/6, série 8, 1988, p. 1053-1061.

[109] P. Birot, *Les formations végétales du globe*, Paris, SEDES, 1965, 3e partie, « Les régions arides », p. 469.

2.4.2 LE PAVAGE ÉOLIEN DES NAPPES DÉTRITIQUES

La déflation sur une formation hétérogène assure un pavage à la surface du dépôt par vannage du matériel fin. Dans la plaine de Douch, la teinte des dépôts est ainsi commandée par le développement de ces regs de déflation.

Sombres, ils correspondent aux gravillons noirs fournis par le substrat (épandages graveleux en marge du piémont) ou aux plaquettes de silex interstratifiées dans les argilites (surface des glacis d'ablation au nord de Douch); clairs, ils correspondent aux sables grossiers et aux graviers livrés par les grès (photo 25, nappe d'épandage au sud de Douch) ou à de gros éléments de silex laiteux, retrouvés dans la plaine.

Ces regs prouvent la progression de la désertisation de ce secteur, puisqu'ils se développent même aux dépens des plus récents dépôts détritiques, tels ceux des lits d'oued (lit de l'oued au nord de Douch et en contrebas du Naqb Douch, photo 26).

2.4.3 LA CORRASION ÉOLIENNE

On assiste à la transformation de la surface d'accumulation en surface de déflation (photo 26). Si les vents à poussière abrasive se montrent les plus efficaces au point de voiler l'atmosphère, au printemps, pendant plusieurs heures, des coups de vent brutaux, de jour comme de nuit, dits chasse-sable, ont également leur part dans le vannage des regs et l'édification ou la destruction des petites accumulations sableuses erratiques (fig. 14) [110]. Ce pavage est la preuve qu'une déflation efficace est aussi à l'origine de la morphogenèse développée aux dépens du substrat. Le vent chargé de sable exerce sur les matériaux résistants une action de corrasion qui se traduit par l'apparition de rainures, d'encoches ou de couloirs plus ou moins profonds (photos 26, 27, 28).

Son passage se traduit, d'abord, par le polissage des cailloux, leur lustrage et l'extension des regs caillouteux (photos 26, 29), situés en particulier à la base des fronts de la hamada. Là, le piémont détritique associe une succession de regs que définissent les surfaces étagées des cônes-glacis (photo 20). Les galets y exposent une face lisse comme tranchée (photo 26).

De même, les talus vêtus de débris présentent une enveloppe luisant au soleil, car patinée et lustrée par le vent. Ces regs de couvertures détritiques se retrouvent également à la surface du plateau, comme on l'observe le long des pistes entre Baris et Armant ou Assiout. Ils se sont élaborés aux dépens de formations superficielles interprétées comme d'anciens placages alluviaux d'un karst.

[110] Les relevés de l'hygrométrie, de la pression et de la température des 7/8/9 novembre 1992 définissent les conditions de leur efficacité.

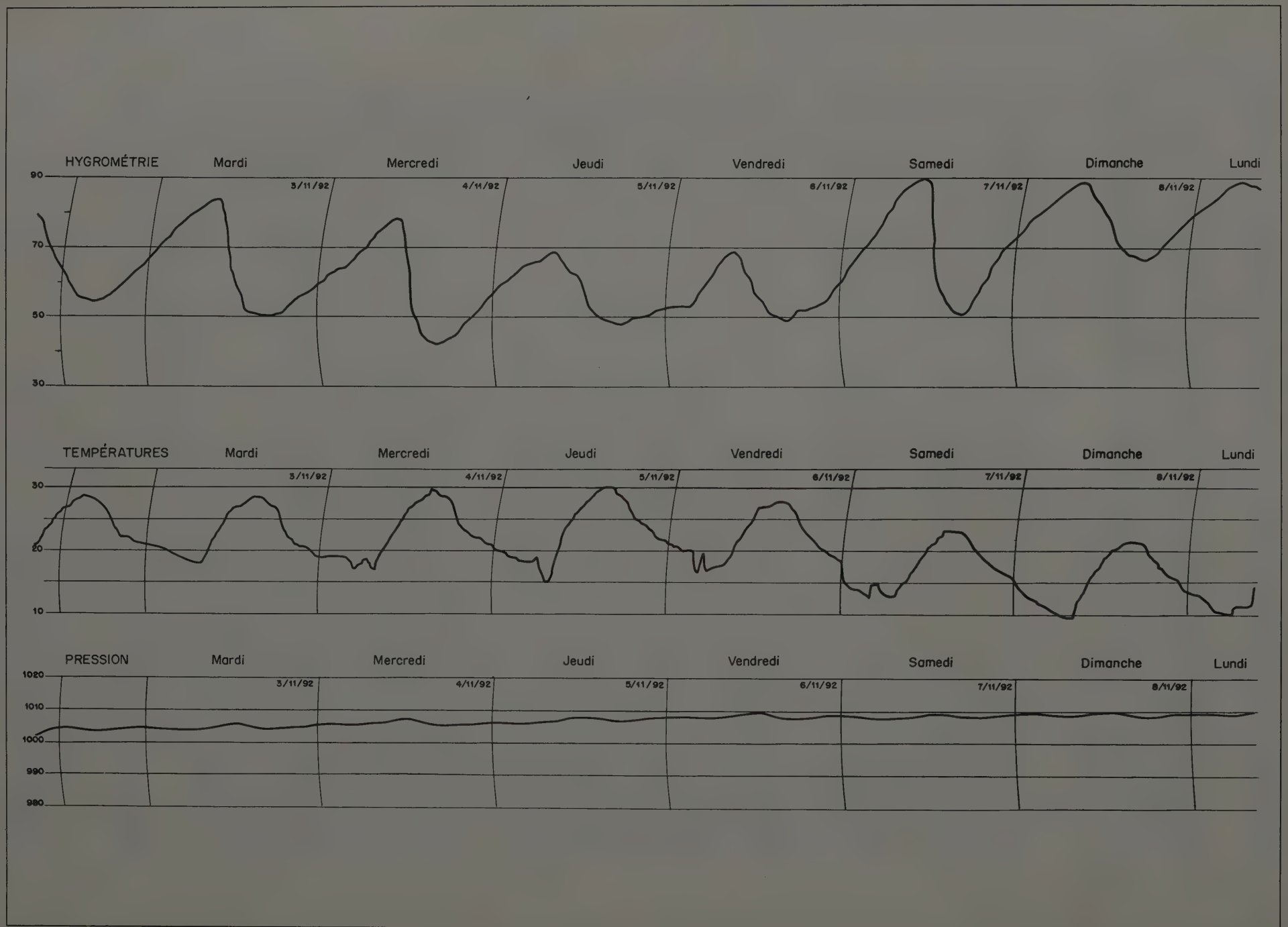


FIG. 14. *Relevés : hygrométrie, températures, pression, novembre 1992. (Site de Tell-Douch)*

Pour les surfaces calcaires, la corrasion se traduit par le développement de rainures qui se recoupent [111], ou de gouttières, elles-mêmes rainurées (photo 27). Tout se passe comme si un ancien modelé karstique avait été retouché par le vent. Le champ des lapiés structuraux à l'origine d'une première rainuration par dissolution du plan stratigraphique a été ainsi surchargé de nouveaux sillons affûtés et polis par les vents de sable.

Les parois des corniches sont aussi ébréchées ou biseautées à leur angle par des siffle-vent, eux-mêmes polis ou rainurés, et en outre parfois emboîtés (corniche de Naqb Douch, corniche sommitale coupée par la piste de Baris à Armant, etc). De même, la crête calcaire de l'abrupt nord qui borne le Naqb Douch se décompose-t-elle en buttes convexes que séparent des mega-couloirs de déflation (photo 28). Cette topographie se retrouve à la surface des glacis au détriment de leur matériel détritique hétérométrique (photos 29, 30).

La rainuration marque aussi les faces neuves des blocs éboulés et basculés qui couvrent la partie haute des talus (Naqb Douch). Les différentes faces de ces blocs portent ainsi plusieurs générations de rainures. Celles qui se développent à la surface du replat intermédiaire ont une direction légèrement oblique par rapport à celle du vent dominant actuel. Cette différence traduit la longévité de l'action éolienne ainsi que des modifications dans l'orientation des courants d'écoulement, soit au cours du Quaternaire, soit, en changeant d'échelle spatio-temporelle, dans l'immédiat, au cours du franchissement des fronts festonnés d'entonnoirs obséquents qui, en le canalisant, forcent l'écoulement et infléchissent sa direction.

Des rainures de corrasion s'observent également sur les flancs des yardangs en grès qui accidentent l'arête des blocs dissymétriques (Tell-Douch, Aïn Ziyada). Elles ont été excavées aux dépens des lits sableux les plus tendres et soulignent la sédimentation originelle en lentilles ou en lits.

La corrasion façonne des formes identiques dans les matériaux meubles sablo-argileux qui empâtent le front des reliefs ou le piémont du talus supérieur. Le dépôt gris-olive est découpé en buttes profilées par le vent. La forme dissymétrique oblongue tend à épouser un profil aérodynamique (photo 15). Les buttes sont elles-mêmes séparées par des couloirs de déflation qu'emprunte le sable. Les fronts des plus massives sont ébréchés par des siffle-vent (Tell-Douch, Dikura, Aïn Ziyada [photo 19]).

À une échelle encore moindre, le décimètre contre le décamètre, on retrouve leur miniature lacérant la surface des parcelles anciennes tracées au dos des affleurements de limon gris (parcellaires de Douch, d'Aïn Manawir, Dikura [photo 31]), comme on les retrouve allongées sous le vent de concrétions carbonatées d'horizons pédologiques d'accumulation mis au jour et décapés (Tell-Douch ouest). L'abaissement de la surface depuis le Ve siècle, date d'abandon du site, peut donc être évaluée dans certains cas par l'épaisseur des socles (1 à 2 cm) qui

[111] Profondeur: 3-4 cm; section: 7-8 cm; longueur: plusieurs décamètres à hectomètres (cf. pour comparaison G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, *op. cit.*, 1932, photo 1: « Wind scoring on limestone ». Ces rainures peuvent être comparées à celles qui affectent le grès, M. Mainguet, « Un étonnant paysage: les cannelures gréseuses du Bembéché (N du Tchad). Essai d'explication géomorphologique », *AnGéo* 431, 1970, p. 58-66. Les grès de Nubie dans la région de Douch n'affleurent pas sur des surfaces assez grandes pour fournir un modelé comparable, à la différence du calcaire.

supportent des tessons et à l'abri desquels se développent aussi ces micro-figures. L'efficacité de la déflation se mesure également à la diminution de l'épaisseur des briques comme de celle des murs. L'usure est telle qu'elle force à des travaux de restauration [112].

Ces figures et formes résultent d'une action érosive, répétée et efficace du vent. Elles traduisent la tendance durable d'une dessiccation de plus en plus prononcée, comme l'illustre l'effet des accumulations sableuses temporaires plaquées contre les yardangs. Sur les flancs des buttes, des rainures superposées simulent un litage d'habitude propre au sédiment. Il s'agit en fait d'encoches de corrasion superposées qui liées à l'épaisseur variable de ces amas y inscrivent l'attaque du vent à des hauteurs différentes. Leur étagement résulte du passage de masses d'un sable en transit, au volume précaire et variable. L'instabilité des situations est la règle.

2.4.4 LES CUVETTES DE DÉFLATION

L'action du vent s'exerce sur les surfaces dont les argiles sont floculées et agglomérées en pseudo-sable par le sel des sebkhas voisines. Émergeant d'un mince voile sableux en cours de transfert, les particules agglomérées en minuscules mottes deviennent un matériel pulvérulent très sensible à la déflation. Leur abondance est parfois telle qu'en est modifiée la teinte des amas sableux (Douch) et des *barkhanes* (Umm al-Dabadib).

Le développement d'une telle action morphogénique résulte d'un renversement des bilans hydriques. L'abaissement du niveau des nappes phréatiques les plus superficielles implique une diminution des apports en eau profonde. La dessiccation de surface qui en résulte, permet l'attaque du substratum tendre des futures cuvettes. Des processus de cristallisation des sels [113] provoquent un très sensible ameublissement de la roche. Ils favorisent, dans la plaine de Douch, ou au voisinage d'Aïn Ziyada et d'Aïn Manawir, le surcreusement de l'embayment. L'excavation s'approfondit par l'action répétée de trombes. Leur application récurrente produit un décapage en forme de tonsure gris bleu. La dénudation s'effectue aux dépens des sables et découvre le substrat des schistes sous-jacents.

De ce fait, une cuvette s'individualise progressivement en dépression fermée. Elle est allongée selon la direction méridienne des vents dominants et marquée par des étranglements intermédiaires qui traduisent un élargissement latéral par coalescence. Des cuvettes voisines par capture complètent la forme, à moins qu'il ne s'agisse d'anciens chenaux d'écoulement ainsi désorganisés et remodelés (réseau des chenaux au nord de la nécropole).

La cuvette de déflation est une forme qui se révèle un bon indicateur de la mobilité des caractères du milieu. Elle permet de suivre la progression des changements sur un laps de temps relativement court, entre le siècle et le demi-millénaire, comme permet de l'étalonner à

[112] C'est le cas pour les murs d'enceinte du temple en pierre, récemment dégagés du sable. Ceux du temple en brique sont abattus. Ils ne l'étaient peut-être pas au moment du passage de F. Cailliaud (Michel Reddé, renseignement oral). Toutefois l'agressivité de la déflation peut être tempérée, si on admet l'intervention de déluges certes rares, mais responsables cependant d'une part du déchaussement que traduit la mise en saillie des fragments de céramique.

[113] On peut les observer à la surface de parcelles en friche à Douch et à Baris, comme à l'intérieur des dépôts gris des buttes profilées ou du faciès argileux des hypogées.

leurs bordures la détérioration des ouvrages hydrauliques et des aménagements agricoles hérités de l'Antiquité (photo 32). En outre, la périodicité qui fait succéder à l'excavation du substrat son comblement par des apports de sable, se montre récente et donc rapide.

Comme ces différenciations topographiques sont historiques, elles traduisent une accentuation récente de l'aridité du milieu désertique. L'évolution s'accompagne d'une transformation des anciennes sebkhas en liaison avec des remontées d'eau artésienne, en *daya* épisodique, car seulement inondable par les pluies les plus abondantes. Retrouvé dans le fond de quelques-unes d'entre elles, un film induré d'argile beige décantée l'indique. La surexploitation de la nappe hydrique par l'instauration d'un pompage devenu plus intense rend compte de cette évolution très actuelle. La modification du rythme dans l'exploitation de l'eau qui nécessite d'arroser les parcelles tous les trois jours pour ne pas perdre les récoltes, dépend non seulement des fluctuations de la ressource hydrogéologique, mais, peut-être aussi, d'une transformation du rythme climatique. L'intrusion brusque du sable dans les champs en apporte la preuve.

2.5 LES FORMES DUNAIRES

L'accumulation du sable par le vent est à l'origine du modelé dunaire [114] et d'une modification du paysage parfois spectaculaire à l'échelle d'une vie humaine [115], ou à celle historique de l'occupation des sites, au point de masquer et de rendre inutilisables les installations hydrauliques et les parcellaires [116].

Pour la dépression de Kharga une partie du sable provient de la désagrégation des grès de Taref à l'affleurement et de l'action de la déflation sur les grands cônes qui, en particulier au nord de Baris, atténuent la base de l'abrupt de la hamada. La piste de Baris à Armant débute par une traversée de champs de dunes successifs qui restent présents jusqu'au sommet de l'abrupt supérieur.

Dans l'embayment de Baris, on peut distinguer les placages sableux, les accumulations d'obstacle, les nebkas (photos 33, 34) et les *barkhanes* (photos 4, 16), considérées comme des dunes vives et libres, isolées ou groupées [117]. Ces formes se réalisent aux dépens d'une nappe récente à sable clair, jaune à ocre, superposée à d'autres, antérieures, composées d'un sable ocre sombre à roux, différent lui-même du matériel gris-olive des yardangs et buttes profilées.

[114] R. et F. Capot-Rey, « Le déplacement des sables éoliens et la formation des dunes désertiques d'après R.A. Bagnold », *TIRS* V, 1948 p. 47-82 dont 2 planches photos. R. Capot-Rey, « Remarques sur les ergs du Sahara », *AnGéo* LXXIX/431, 1970, p. 2-19.

[115] Pistes coupées et déviées, lignes télégraphiques à demi enfouies, cimetière menacé, ruines fouillées et totalement ou partiellement réensablées d'une mission à l'autre, etc., en sont les manifestations les plus évidentes.

[116] Puits et citerne comblés, *qanat* enfoui, parcellaire recouvert et réexposé au jour par le déplacement des dunes à Aïn Manawir ou à Dikura en sont les preuves à cette échelle.

[117] A. Clos-Arceduc, « Typologie des dunes vives », *TIGR* 6, 1971, p. 63-72.

Les nebkas sont tributaires des facteurs locaux. La végétation et le vent suffisent à assurer leur édification comme leur maintien. Le sable provient des zones d'épandage des oueds venus de l'abrupt de la hamada, ou des nappes accumulées sous le vent du plateau. Elles traduisent l'action actuelle de l'écoulement éolien dans la plaine de Douch.

À l'opposé, les *barkhanes* répondent à des conditions plus strictes en particulier pour leur concentration en colonies. Ces dernières se développent dans les secteurs de transit privilégiés et en fonction du vent principal. Elles se comprennent à une échelle supérieure à celle de la dépression de Kharga.

2.5.1 LES ACCUMULATIONS D'OBSTACLE

Tout obstacle dans le lit du vent entraîne un dépôt de sable et révèle ainsi l'importance du transport sableux à la fois à travers la plaine de Douch et la dépression de Kharga, comme à la surface de la hamada ou à son rebord ouest (Naqb Douch, Baris, Al-Deir, passage de Mamarr Yâbisa, etc).

Au front du Naqb Douch (photo 20), le vent étale le sable en minces nappes et efface le modelé d'incision ou de reptation. Il l'accumule à l'abri de la corniche en un tablier meuble continu sur lequel glissent des blocs qui s'en détachent, l'entasse dans les entonnoirs de réception torrentiels, le plaque aux berges des lits d'oued et aux pentes des lanières qui découpent les cônes-glacis (photo 35), l'amasse à l'éperon des interfluves en une flèche mobile parfois si longue qu'elle évolue en crête sinueuse qui se fragmente en *barkhanes* à son extrémité.

Si une topographie contrastée dans le lit du courant éolien peut servir de piège au sable véhiculé, il en est de même de la végétation, autre obstacle en plaine contre lequel le sable s'accumule. Ces amas liés au couvert végétal constituent des nebkas (photo 35). Ils s'établissent souvent au voisinage d'un site. La présence d'arbres ou de déblais de puits facilite leur édification (photo 7).

À Tell-Douch, le piémont septentrional du front (photo 2) est ainsi encombré de ces dunes qui se sont constituées autour de tamarix ou de palmiers-dattiers morts. Leur groupement est celui des arbres à l'origine. Récentes, ces nebkas sont liées à l'abandon d'un front de colonisation voulu par les Ottomans qui au siècle dernier ont installé dans l'oasis de Douch des familles venues d'Arabie.

Il s'en forme également à partir de tamarix implantés dans la cuve d'un ancien puits ou subordonnés à l'inféroflux d'un oued (limite orientale de l'oasis de Douch). De telles dunes à peu près circulaires atteignent 5 à 7 m de haut et plusieurs mètres de circonférence et s'élaborent dans les secteurs de sédimentation fine. Elles confirment la menace d'ensablement et prouvent l'ampleur du volume de sable qui parcourt la plaine. La flèche d'accumulation qui se construit à leur aval le démontre (secteur de Dikura). Mais toutes n'en présentent pas. Cette différence permet, outre de définir à l'échelle de la plaine des

secteurs de moindre transit de sable, de repérer l'emplacement de légers creux topographiques qui peuvent avoir logé un parcellaire (secteur NE de Dikura, photo 11). Chaque nebka a un point d'ancrage qui est en effet souvent un ancien puits (Dikura est).

Ces dunes à flèche sont en cours de démaigrissement, puisqu'on observe sur leur versant au vent le déchaussement des racines [118]. Ces tertres phytogéniques indiquent une certaine modification récente des conditions bioclimatiques (photo 24). Faut-il déduire de leur présence un moment de plus grande humidité [119] qui, en provoquant la remontée de la nappe phréatique, facilita l'installation de colons au début du siècle dernier ? À cette phase aurait succédé une accentuation de l'aridité, et plus nettement, depuis le début de ce siècle ?

À ces tertres d'accumulation, il faut joindre des monticules oblongs qui, en se constituant à partir d'espèces psammophiles basses, plus ou moins couvrantes, subsistent dans les creux de la topographie (Douch, Dikura, Aïn Ziyada, etc [photos 7, 11, 24]).

Ces formes en dôme de 1 à 2 mètres d'axe ne dépassent pas le demi-mètre de haut et se prolongent à l'aval de l'écoulement par une crête à double pan modelé par des *ripple-marks* (rides de vent). Ces nebkas de petite taille se groupent en essaims aux éléments plus ou moins nombreux et s'entourent d'un placage sableux inégalement épais et étendu (extrémité nord du couloir entre Tell-Douch et Dikura, etc). Elles jalonnent parfois le pourtour aval d'anciens parcellaires (Aïn Manawir).

Actuellement, ces dunes d'obstacle accidentent des nappes de sablons fins accumulées dans des dépressions végétalisées (Aïn Ziyada, photo 24). Elles peuvent se constituer au cours d'une seule tempête de sable [120]. La mort du buisson entraîne leur rapide destruction par déflation. En revanche, les tertres arborés à flèche (sif, photo 34) indiquent une grande stabilité de la forme. Ces buttes à fourrés sont en effet fixées par le feutrage racinaire de la plante qui favorise l'ensemencement en sable. La forme sera plus ou moins aboutie selon l'espèce végétale. En particulier les perturbations multiples liées à l'agitation de leurs palmes empêchent la construction d'une flèche à l'aval des palmiers les plus bas. Une cuvette annulaire de déflation souligne l'anomalie. De même, comme à Tell-Douch, des yardangs peuvent servir d'accroche à l'accumulation arénique. Ils expliquent le gigantisme du tertre et son inertie (photo 1). Enfin certaines buttes profilées dérivent d'anciennes nebkas que la déflation a remodelées. Quelques-unes par le matériel qu'on y trouve, datent de l'Ancien Empire. Leur évolution assure la réalité de ces modifications.

Les actuelles nebkas en cours de destruction ont un contour qui se modifie lentement de quelques centimètres par an. Une géométrie précaire caractérise plus encore les dunes vives.

[118] Tertres phytogéniques présents aussi dans la partie méridionale du désert, cf. les nombreuses photographies in F. Wendorf, R. Schild, *Prehistory of the Eastern Sahara*, New-York, 1980.

[119] Anomalie climatique à mettre en parallèle avec la fin du petit âge de glace puisqu'elles sont datées du XVIIIe siècle, par D. Busche, *op. cit.*, 1988.

[120] En théorie, un vent de 30 km/h (Beaufort 5) peut entraîner 5 kg de sable par m^2 et par heure.

2.5.2 LES DUNES VIVES

L'embayment de Baris et la plaine de Douch sont parcourus par des *barkhanes*. Ces dunes en croissant, à la convexité face au vent dominant, sont définies comme autant d'accumulations mobiles et autonomes de sable.

Au vent, le dos s'abaisse selon une pente inférieure à 10°. À l'opposé un talus incliné jusqu'à 30° se montre affecté de glissades de sable (photos 4, 16, 36). À sa base s'étale un court glacis de sable mou. La dissymétrie de la forme est marquée par une crête qui disparaît vers les extrémités où les pointes ont des profils transversaux aplatis et convexes. En outre des rides dissymétriques de 30 à 40 cm d'amplitude et de 3 à 5 m de longueur d'onde indiquent à leur pourtour que les passages entre les dunes sont eux-mêmes soumis à la déflation.

Ces dunes se différencient les unes des autres par leur géométrie et leur taille. Au nord-ouest de Douch (photos 5, 16), une chaîne de *barkhanes* offre tous les types [121], dune bouclier, dune aux ailes embryonnaires, *barkhane* symétrique, *barkhane* dissymétrique, amas barkhanoïde par coalescence ou chevauchement d'individus. Certains de ces édifices se retrouvent comme à Aïn Manawir perchés sur les reliefs jusqu'à atteindre leur sommet (dunes ascendantes). Enfin, les *barkhanes* peuvent se détacher de dunes d'obstacle. C'est le cas du replat structural de la hamada qui confirme de la sorte l'abondante présence des sables, même en altitude, et l'ampleur du lit de leur déplacement.

Les groupements sont également différents, à dispersion lâche, en essaim serré [122], en vol de canard, en association de dunes transverses, ou tassées en amas chevauchant, en dunes agglomérées à d'autres, etc. Ces massifs et chapelets s'égrènent dans le sens de l'écoulement du vent, organisés en longues traînées autonomes séparées par des couloirs plus pauvres en sable que des obstacles de toute taille arrêtent temporairement. L'ensemble forme un erg aéré et organisé en plusieurs bandes allongées et parallèles qu'interrompt l'alignement transverse des collines et que perturbe le rebord de la hamada (fig. 15).

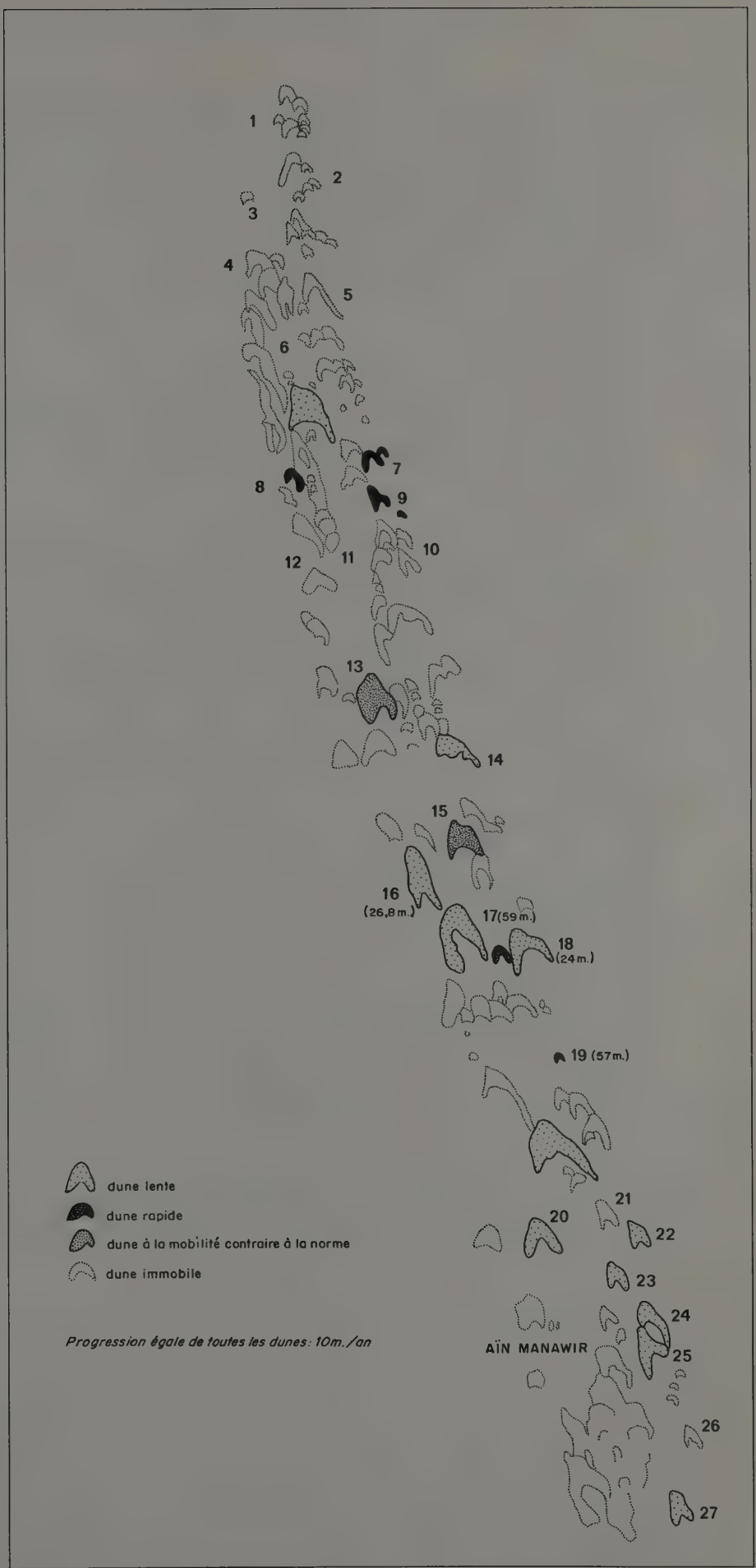
La progression de chaque dune varie en raison inverse de la taille de l'édifice. Sa mobilité contribue à modifier sa forme. Les *barkhanes* jeunes sont trapues ; les plus anciennes profilées en croissant. Les amas se déplacent d'autant mieux que le substratum est plat, uni et lisse, ou que les pentes sont régulières. Mais forme et support s'influencent mutuellement. En effet, plus le support est lisse, plus la forme idéale est conservée longtemps ; plus le support est en revanche irrégulier, plus l'édifice est grand. Enfin, plus le régime des vents est complexe et plus les cas de chevauchement et de coalescence d'appareils seront nombreux [123].

[121] Cf. *infra*. § « La dynamique éolienne présente et passée ». Les types ont été recensés par H.J.L. Beadnell, « The Sand-Dunes of the Libyan Desert », *GeoJourn* 35, 1910, p. 379-395, fig. 3 et photos dans le texte. W.J. Harding King, « Study of a Dune Belt », *GeoJourn* 43, 1918, p. 16-33, fig. 1.

[122] Le schéma de leur scission a été donné par R.A. Bagnold, « A Further Journey Through the Libyan Desert, » *GeoJourn* 82, 1933, p. 123-126.

[123] W.J. Harding King, *op. cit.*, 1918, fig. 1, p. 18 et fig. 4, p. 21. R.A. Bagnold, « Forme des dunes de sable et régime des vents », colloque d'Alger, CNRS, 1953, t. XXXV, p. 23-32. M. Robin, B. Bousquet, « Étude statistique de la cinémétique des dunes de la dépression de Kharga d'après deux images SPOT », *Actes du colloque en l'honneur de R. Coque, 1993, les milieux arides et semi-arides. Héritages et dynamiques actuelles*, ENS. Saint-Cloud, 1994, p. 689-739.

FIG. 15.
Le système des dunes.



La mobilité dans le temps est la règle de ce paysage. Cependant, la comparaison du contour des *barkhanes* portées sur la carte topographique d'avant la guerre de 1940 et de celles observées sur les images SPOT n'est pas facile à opérer. Si on retrouve à peu près la même disposition, le pourtour des dunes est en effet différent, peut-être en raison d'une cartographie approximative. Il est difficile sur le demi-siècle qui sépare les deux documents d'apprécier le déplacement provoqué par la dynamique éolienne. Il reste certain cependant que de petites dunes à progression rapide se sont accolées à de plus massives car plus lentes.

L'observation de terrain confirme ces absorptions. Le phénomène d'évolution majeur que l'on observe à Douch consiste en jumelage de *barkhanes* adjacentes et en chevauchement d'appareils. Cela traduit la progression inégale de certains édifices et la surabondance en sable de certains secteurs.

Cette diversification des assemblages montre qu'à partir d'une certaine distance du rebord du plateau, la déflation reparaît, l'effet d'abri ne s'exerçant plus. Ainsi le constate-t-on dans l'embayment sous le vent des collines d'Aïn Ziyada (photo 8) et de Dikura. Mais non sous le vent de Tell-Douch, qui, se situant dans un couloir à plus net déficit en sable, voit son front s'ensabler alors qu'au-delà de son revers, la dépression reste un reg avec quelques nebkas ancrées sur des tamarix et des têtes de puits (sud de Douch, photo 7).

En même temps, cette évolution concourt à démontrer la dessiccation progressive du milieu, au cours de la période historique. On ne peut affirmer cependant si les chaînes dunaires observées aujourd'hui à l'horizon de Douch existaient à l'époque romaine de Kysis. Il semble que leur surgissement soit récent, car pendant l'époque de son occupation aucun site ne semble avoir eu à se défendre contre la menace de ces dunes, hors des cas d'ensablement très ponctuels (Douch est et Aïn Ziyada nord). On ne constate non plus aucun déplacement de parcellaires pour échapper à ce type de menace. Il est vrai que le terroir irrigué est handicapé par l'inertie spatiale de son installation. La preuve d'un tel nomadisme devrait être apportée par une modification dans le mode de distribution de l'eau. Un chenal de puits verrait son rayon d'action augmenté par un réseau de canalisations et les abords de sa cuve ceinturés par un mur. Toutefois, il n'est pas dit que des mesures n'ont pas été prises pour empêcher l'ensablement des *qanawat*, et en fin d'occupation de Kysis, des seuils protégés pourraient indiquer une recrudescence des ensablements.

Cependant, rares sont les dunes à flèche latérale, preuve *a contrario* de la prédominance d'un vent exclusif. Dans ces conditions, les *barkhanes* ont la signification d'édifices récents. L'évolution conduit, en effet, à passer de la *barkhane* à la dune transverse, puis à la dune longitudinale, ce que l'on n'observe nulle part encore.

2.6 LA DYNAMIQUE ÉOLIENNE PRÉSENTE ET PASSÉE

Cette transformation traduirait une modification de la dynamique. En même temps elle indiquerait des épisodes dont les individus se différencieraient par leurs caractéristiques.

2.6.1 LES TÉMOIGNAGES ANTÉRIEURS

L'analyse du modelé d'érosion révèle le rôle prépondérant du vent. L'action est ancienne, quaternaire, puisque les dépôts sur les pentes de raccord entre les cônes-glacis sont pour la plupart lustrés. Les formes de corrasion paraissent être celles qui fournissent les témoignages les plus anciens. En particulier, la profondeur des rainures (photo 27) à la surface de la hamada le confirme, en raison de la lenteur des processus qui aboutissent à leur creusement.

Le recoupement en oblique de ces longues et étroites rigoles indique un changement dans l'orientation du vent dominant. Mais, toujours situé dans le quadrant NNE de la rose des vents, le flux aérien et ses variations de direction dépendent de l'extension spatiale et de la mobilité des cellules anticycloniques, au cours du Quaternaire [124].

La récurrence de la déflation contrôle l'étendue des ergs, le lustrage et le polissage très aboutis des cailloux. Elle souligne la persistance des conditions arides même au cours des épisodes en apparence plus humides.

Cette aridité associée à l'extension des zones de déflation explique sans doute l'absence de dunes anciennes grésifiées ou fossiles, hors celles plus limoneuses qui supposeraient l'intervention d'une phase plus sahélienne ou semi-désertique que désertique. Il n'y a pas non plus de dunes figées sous un encroûtement de sel, hormis des cas très rares liés à l'activité manufacturière des sites [125].

De même les divers types de nebkas soulignent la difficulté à dater l'apparition de la forme ou sa longévité. Si chacun d'entre eux est le résultat d'une courte phase moins aride, les tertres aux arbres en vie seraient apparus il y a deux siècles ; ceux aux arbres morts pourraient-ils être considérés alors comme antérieurs ? On ne peut le dire avec certitude. On peut cependant affirmer que les tertres aux arbres les plus vigoureux sont de fait entretenus par des inféroflux alimentés par l'irrigation actuelle. Ces écoulements nourrissent des nappes superficielles dont l'existence est révélée par la présence des plants les plus vigoureux. Le surplus d'eau s'accumule en mare temporaire et s'infiltre progressivement à la limite du terroir d'Ezbet Douch, par exemple.

[124] M. Leroux, « L'anticyclone mobile polaire : facteur premier de la climatologie tempérée », *BAGF* 4, 1986, p. 311-328 ; M. Leroux, « L'anticyclone mobile polaire, relais des échanges méridiens : son importance climatique », *Géodynamique* 2/2, 1987, p. 161-167.

[125] Il peut exister des croûtes à proximité d'ateliers de potier (Tell-Douch nord).

En revanche, l'ampleur des champs de nebkas dépend d'une modification de la densité du couvert végétal. Le nombre de leurs individus est en effet fonction des obstacles [126]. Mais certains secteurs présentent un groupement de flèches libres de tout ancrage. La disparition de l'obstacle végétal correspondrait à une transformation de la situation d'origine. Aux flèches résiduelles courtes s'ajoutent celles nouvelles et plus longues des nebkas à sif. La complexité de certains champs sableux entre Dikura et Tell al-Dabba al-Sharqiyya s'expliquerait par une accumulation d'héritages en cours de remodelage (photos 11, 24).

2.6.2 LA MOBILITÉ ACTUELLE DU SABLE

Les accumulations éoliennes peuvent être classées en fonction de leur inégale mobilité. Des plus mobiles aux plus stables, on peut énumérer :

1. Les voiles sableux minces et lisses ;
2. Les épandages sableux à ripple-marks ou rides ;
3. Les *barkhanes* ;
4. Les dunes d'obstacle ;
5. Les nebkas en cours de destruction ;
6. Les nebkas à flèches ;
7. Les nappes sableuses à méga-rides ;
8. Les nappes sableuses rubéfiées ;
9. Les limons éoliens pédogénisés ;
10. Les regs caillouteux de déflation.

Pour l'embayment de Baris, on peut très précisément évaluer la vitesse de déplacement en fonction du relief, c'est-à-dire du rebord du plateau et des collines d'Aïn Manawir contre lesquelles butent les chaînes des *barkhanes*. En fait, l'alignement de *barkhanes* qui barre à l'ouest l'embayment de Baris n'est qu'un segment du cordon dit Abou Mohariq dans sa traversée de la dépression de Kharga [127].

L'alignement principal prend naissance plus au nord, à l'est de la dépression de Bahariya sur un plateau qu'il parcourt sur 250 km avant de descendre dans la dépression de Kharga. Là, en longeant l'escarpement de la hamada, il traverse la Nouvelle Vallée longitudinalement avant de se heurter plus au sud à la terminaison du plateau interposé entre la vallée du Nil et la dépression de Kharga. Il escalade son rebord, franchit le plateau et 120 km plus au sud en descend pour se perdre dans la mer de sable de Sélima au Soudan (fig. 1).

[126] S.A. Wolfe, W.C. Nickling, « The Protective Role of Sparse Vegetation in Wind Erosion », *Progress in Physical Geography* 17/1, 1993, p. 50-68.

[127] Cartographie du cordon in R. Saïd, *op. cit.*, 1990. N.S. Embabi, « Barkhanes of the Kharga Depression » in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, p. 141-156, et une carte topographique. L'étude des images SPOT permet d'établir une représentation morphologique plus précise ainsi qu'une appréciation morphodynamique de la cinématique de chacune des dunes.

Au passage de la « marche de Kharga » [128], au nord, le cordon se subdivise en multiples chaînons parallèles le long desquels les *barkhanes* se multiplient, en se transformant parfois en dunes longitudinales. La migration du sable d'abord guidée par les courts lits torrentiels du piémont se fait ensuite librement à la surface de playas ou de glacis. La piste chamelière qui mène à Umm al-Dabadib longe, puis recoupe l'un d'entre eux.

Mais à ce système principal situé à l'ouest de Kharga s'ajoutent à l'est, près du rebord de la hamada, des alignements, établis à l'échelle de la dépression. Le premier commence à l'extrémité orientale du Gebel al-Ramiya, longe la bordure du Gebel al-Teir, expliquant l'ensablement partiel des abords du fort d'Aïn Labakha et se termine dans la dépression de Sherika au nord de Boulaq. Le second débute plus à l'est au pied du Gebel al-Yabissa, longe le Gebel al-Aguz en gênant l'accès au camp fortifié d'Al-Deir, et 130 km plus au sud bute sur la terminaison dite Aïn Tafnis, au droit de Baris. Mais la plus grande partie du sable contourne le promontoire et poursuit son cheminement à l'ouest de Douch ensevelissant la colline d'Aïn Manawir pour disparaître progressivement plus au sud, un peu au-delà de la dernière oasis qui accompagne la piste Al-Arbain.

Le sable vient aussi du plateau, fuse dans les entailles qui découpent son rebord et emprunte les vallées qui incisent profondément le piémont détritique. Il se répand à la surface de la plaine sous la forme d'un voile d'accumulation à nombreuses nebkas. Enfin, à l'intérieur même de l'embayment de Baris, on observe la présence de courts chaînons de *barkhanes*, en particulier au sud des blocs dissymétriques de Douch et d'Aïn Ziyada. Ces derniers atteignent les collines d'Abu Bayan, quinze kilomètres plus au sud.

La vitesse du déplacement des dunes mesurée à Kharga a été évaluée à 10 m/an, en moyenne [129]. En 1992, à Aïn Manawir, au cours de trois journées pendant lesquelles le vent atteignit une force de 7 Beaufort, certaines dunes avancèrent de 25 à 75 cm, (photos 37, 38). Pour le vérifier sur un laps de temps plus long, le segment terminal de l'alignement le plus occidental a été sur 25 km plus précisément étudié [130] (fig. 15 et 16).

Large de 2 km, il compte deux cents dunes de taille variée. Les *barkhanes* se déplacent vers le sud-est sur une surface sillonnée par quelques chenaux très atténués par des remplissages sableux (photo 10). La pédiplaine substructurale sur laquelle les dunes se déplacent à des vitesses variées est sous-tendue par des argilites grises, feutrées de limon gris-olive et recouvertes de sable ocre ou d'un voile à la surface roux-mauve plus sombre que masquent des sablons clairs très mobiles.

[128] M. Mainguet, M.-Ch. Chamin, J.-M. Borde, « Étude du rôle des obstacles topographiques dans la circulation éolienne d'après les images satellites et les photographies aériennes de l'échelle continentale à celle de la butte témoin », *Méditerranée* 54/1-2, 1985, p. 11-19.

[129] H.J.L. Beadnell, *op. cit.*, 1910.

[130] Des secteurs plus septentrionaux ont été analysés à partir d'autres images SPOT par T.A. Maxwell, P.L. Srain, « Discrimination of sand transport rates and environmental consequences in central Egypt from SPOT data » in *Colloque CNES, Paris Novembre 1987, SPOT 1 Utilisation des images, bilans, résultats*, Toulouse, 1987, p. 209-214, p. 213 pour l'oasis de Kharga.

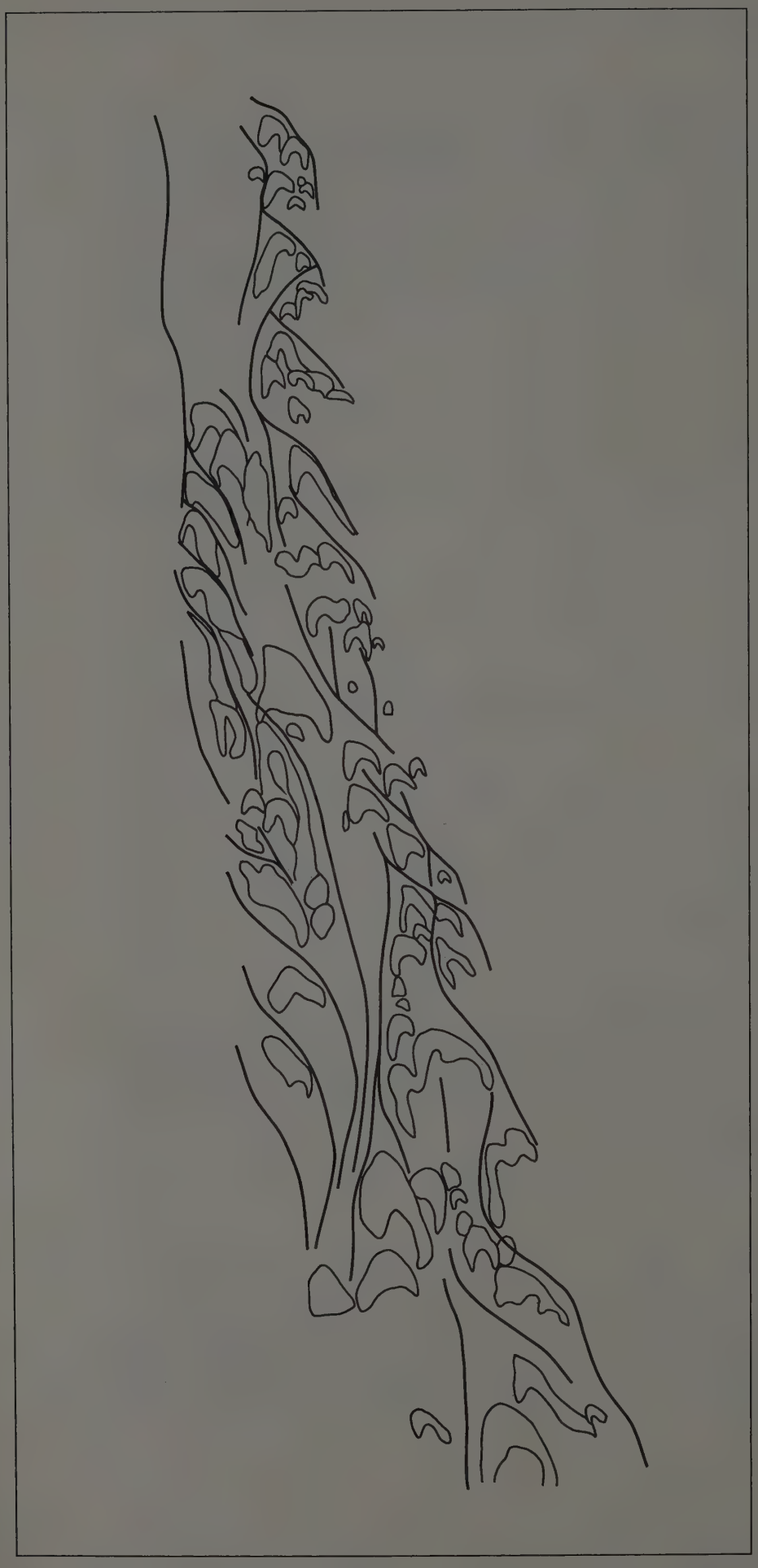


FIG. 16.
L'écoulement éolien entre les dunes.

La comparaison de deux images SPOT prises à 16 mois d'intervalle (19 mars 1989 et 28 juillet 1990) montre que cet alignement dunaire peut être subdivisé en un secteur nord qui s'oppose à un secteur sud caractérisé, en effet, par un agencement plus régulier en lignes et en colonnes de ses édifices. Le déplacement des dunes a pu être chiffré. La dune vue selon la direction de l'écoulement montre que le corps central s'est déplacé en moyenne de 42 m en 16 mois, la corne ouest (droite) de 42 m et la corne est (gauche) de 51 m. Certaines dunes n'ont pas bougé, certaines plus véloces se sont déplacées de plus de 100 m en 16 mois [131].

Ces dunes sont à dissymétrie gauche ou droite selon leur place dans le courant turbulent du vent, mais aussi tant qu'elles se situent dans la zone dont les courants aériens restent sous l'influence de l'escarpement de la hamada (effet de domination).

À partir de l'analyse statistique bivariée et multivariée (ACP) des variables retenues et comparées sur l'une et l'autre images SPOT utilisées, soit :

1. La plus grande épaisseur de la dune ;
2. La distance entre les deux extrémités des cornes ;
3. Le rayon de courbure de la dune ;
4. La valeur du déversement ;
5. La mobilité du corps dunaire central ;
6. Celle de chacune des cornes, on peut expliquer le dispositif et sa mise en ordre symétrique, régulière et progressive (fig. 17).

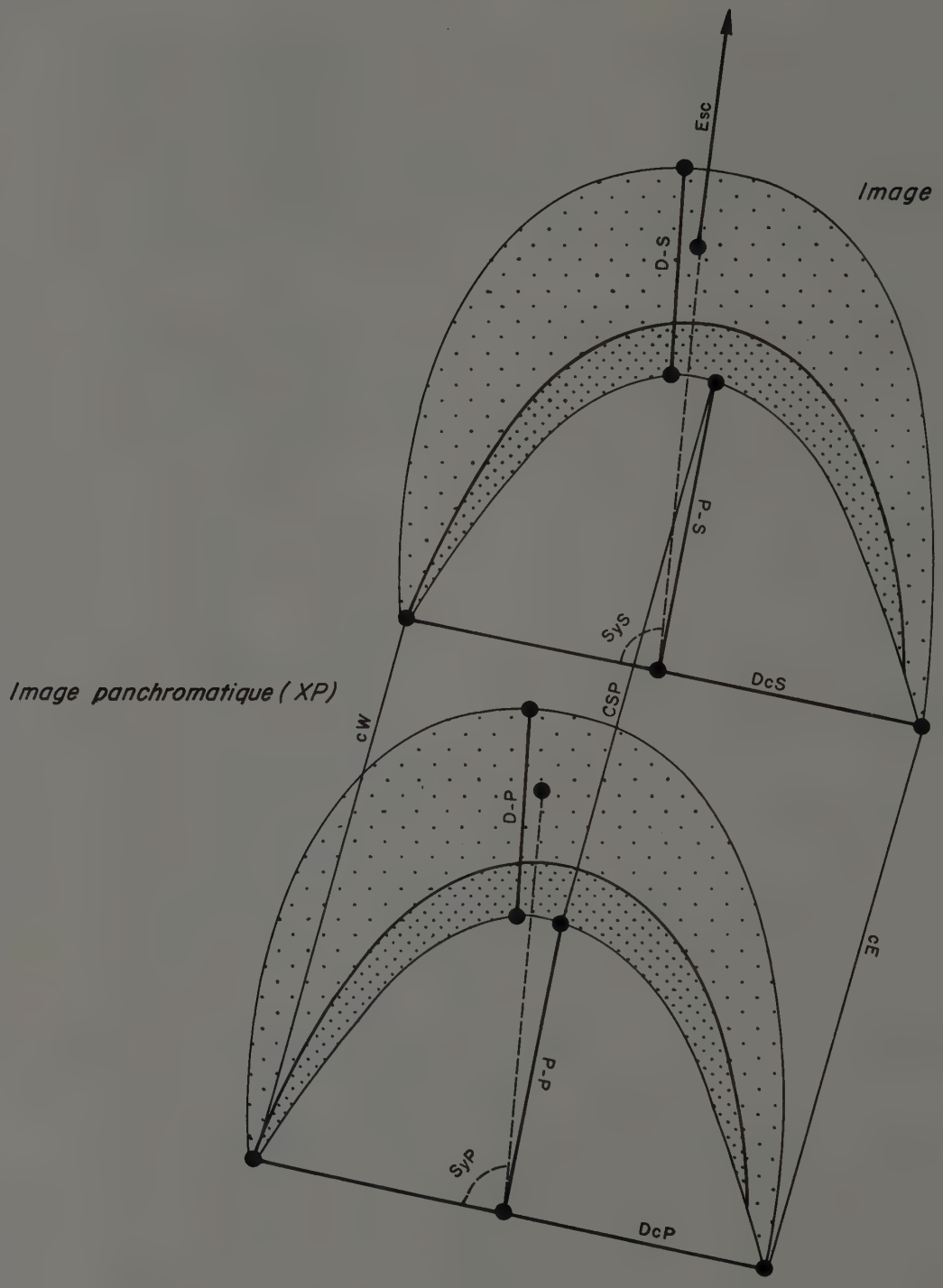
En 16 mois, la mobilité des sables ne change pas radicalement la morphologie des *barkhanes*. Au cours de ce laps de temps ces dernières conservent leur dissymétrie, parfois plus accentuée. Leur rayon de courbure se modifie peu ainsi que leur déversement et son sens, lequel est d'autant plus accentué que la dune a un corps peu épais. Pour ce dernier, on n'observe d'une image à l'autre aucun renversement de tendance pour la même dune. Et rares sont celles qui présentent un déversement vers l'est. Plus le corps dunaire est épais, plus la distance entre les cornes augmente. En même temps, plus le déversement est accentué, moins la dune a un corps épais.

Le dispositif en biais des alignements comme la rugosité du support à proximité de la hamada peuvent renforcer ou engendrer d'autres turbulences dans l'écoulement du vent, à l'échelle même des dunes et non pas seulement à celle de leur alignement. Plus le corps dunaire est épais, plus la dune progresse lentement en deçà de la limite-seuil des 15 km. Au-delà de cette distance-seuil, la vitesse est égale pour toutes, 10 m/an, soit la valeur proposée [132] pour les dunes proches de la ville de Kharga, située au centre de la dépression. Plus une dune est éloignée de l'escarpement, plus sa progression est lente.

En même temps, le flux aérien semble être sous l'influence dans sa partie nord d'un écoulement sinueux. Progressivement, et semble-t-il à partir de la distance-seuil de 15 km, il retrouve une direction méridienne droite. En outre, les couloirs de déflation s'élargissent et s'orientent selon ce même axe d'orientation plus méridien. Ce changement de direction

[131] À l'ouest de l'oasis de Kharga, les vitesses de 34 individus migrant vers le sud s'établissent entre 4 et 16 m/an, cf. T.A. Maxwell, P.L. Strain, *op. cit*, 1987.

[132] H.J.L. Beadnell, *op. cit.*, 1910.



DS : plus grande épaisseur de la dune sur l'image XS

DP : plus grande épaisseur de la dune sur l'image XP

DcS : distance entre les extrémités des cornes sur l'image XS

DcP : distance entre les extrémités des cornes sur l'image XP

PS : rayon de courbure interne de la dune XS

PP : rayon de courbure de la dune XP

SyS : angle, en degré, exprimant la symétrie de la dune XS

SyP : angle, en degré, exprimant la symétrie de la dune XP

CSP : déplacement du corps de la dune

Esc : distance dune-escarpement

cW : déplacement de l'extrémité de la corne ouest

cE : déplacement de l'extrémité de la corne est

FIG. 17. *Schéma d'une barkhane et de ses caractéristiques (conception Marc Robin).*

coïncide avec l'apparition des plus grosses dunes. Une disposition régulière en lignes assemblant trois *barkhanes* de front jointives ou non s'allie à une répartition en colonnes par trois selon un échelonnement de moins en moins décalé.

L'évaluation de la vitesse du déplacement montre qu'à sept kilomètres de l'escarpement commence le ralentissement de la progression des dunes. Et l'avancement se fait en oblique. Le transfert en sédiment est à peu près égal entre le secteur en cours d'ablation et celui en cours d'engraissement. Il se fait en fonction d'une sorte de compensation qui affecte partiellement l'enveloppe de la *barkhane* (fig. 18). Les *barkhanes* sont dissymétriques et plus au profit de la corne orientale (gauche) que de la corne occidentale (droite). Au sud, les dunes progressent comme la direction de leur axe de symétrie et surtout aux dépens du corps dunaire (*barkhane* à cornes réduites).

De ces constatations, on peut tirer les enseignements suivants pour l'époque historique.

L'influence prépondérante de la variable « distance-seuil à l'escarpement » explique la mobilité diversifiée des dunes. Le rôle de l'escarpement et des collines est sans doute le premier facteur qui détermine la cinématique irrégulière des appareils. L'influence de cet effet de domination s'étend jusqu'à 15 km de l'escarpement, soit la distance à partir de laquelle s'impose un arrangement plus régulier en lignes et colonnes des *barkhanes*.

La correspondance en lignes et colonnes est mieux respectée en fonction de la forme et de la taille de la dune. On observe que les grosses dunes tendent à avancer moins vite que les petites jusqu'à un certain seuil de taille d'environ 150 m d'épaisseur. Au delà, l'avancée semble constante, quelle que soit la taille (10 m/an en moyenne).

Par l'intermédiaire de la forme, symétrie et mobilité sont liées. La corne est croît plus vite que la corne ouest, lorsque les dunes sont plus petites, avec une distance entre les cornes réduite et un rayon de courbure petit. À l'opposé, la corne est est plus allongée pour les dunes plus grandes, avec une distance entre les cornes plus grande et un rayon de courbure plus grand.

La déflation joue un rôle par l'espacement variable des couloirs qu'elle introduit entre les lignes et les colonnes du chaînon (fig. 16). De même, la vélocité spécifique d'une dune influence-t-elle la mobilité de ses voisines. Enfin, la proximité des dunes d'amont comme leur nombre commandent autant le déplacement des dunes aval que leur forme [133].

L'irruption d'un sable très mobile semble être récente à l'échelle des temps géologiques. Comme les formes de déflation qui les accompagnent, les dunes sont tributaires des dépôts alluviaux constitués au cours du Quaternaire. Dans ces conditions elles dateraient de l'Holocène supérieur et sans aucun doute de l'époque historique. À l'échelle de l'embayment de Baris, pour les secteurs libres d'obstacle, les premières *barkhanes* annonciatrices du cordon se situent à 15 km au sud des buttes. Si on admet pour ces dunes une vitesse moyenne de déplacement de 10 m/an et que leur apparition soit de ce fait récente dans ces lieux, les 15 km auraient été franchis en 1500 ans. Si les parcellaires ont été ensablés

[133] M. Mainguet, « Système expert pour l'évaluation de la dynamique éolienne et la protection contre les effets traumatisants du vent », *RGD* XLI, n° 4, 1992, p. 113-136.

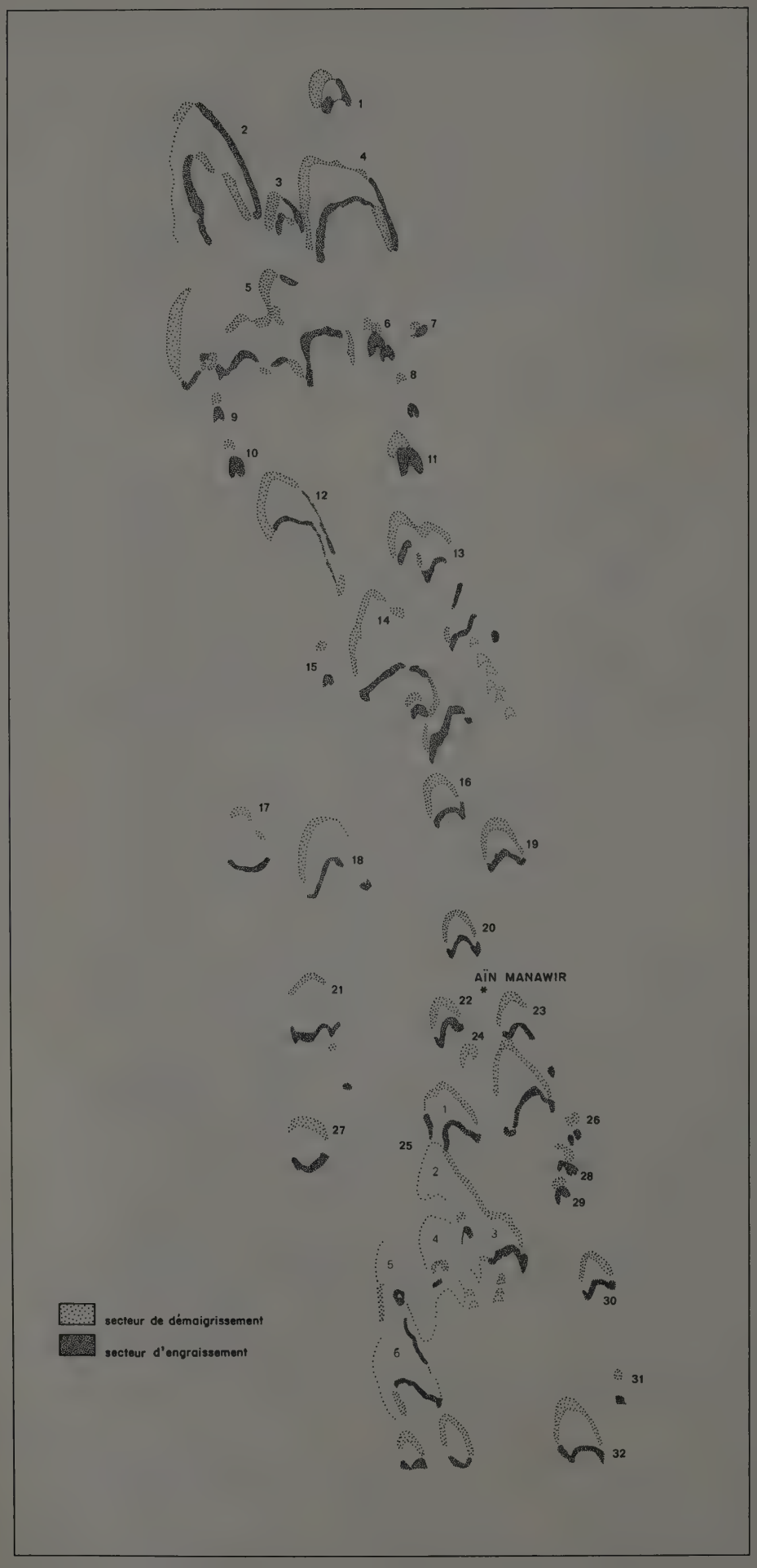


FIG. 18.
Bilan de l'évolution des barkhanes sur 16 mois.

au cours de leur utilisation, on peut penser qu'au moment de la fondation de Kysis, au IIIe siècle av. J.-C., ces toutes premières dunes annonciatrices se trouvaient alors à 4 ou 5 km plus en amont (fig. 19).

On peut en outre savoir en combien de temps les excavations d'une galerie de drainage peuvent être comblées. La citerne à escalier (photo 64) fouillée à Dikura a été entièrement comblée en un peu plus d'un an. Ainsi 60 m^3 de sable ont-ils été piégés. Ce volume donne approximativement l'ampleur du transport réalisé en quelques semaines, essentiellement au printemps (avril), ou à la fin du printemps et de l'été (juin et septembre), pour un secteur particulièrement exposé. Mais, plus d'un an après, les déblais de cette fouille, soit un amas de 60 m^3, sont seulement en cours de dispersion par le vent. Les excavations se comblent plus vite que ne se détruisent les amas sableux lorsqu'ils ont atteint un certain volume. L'observation peut aider à comprendre la menace exercée par ces vents chasse-sable, dont la recrudescence pourrait être à l'origine de l'abandon du site [134].

Pour une estimation du même ordre, si on retient un taux moyen de remplissage de 30 m^3/an, les fosses de Kysis-nord (photos 2, 13, 39) qui représentent au total 1050 m^3, ont été remblayées en 35 ans, soit une génération. De même une tranchée de 20 m^3, comme celle du *qanat* de Dikura, dont on double ou triple le volume à combler par les entrées de la galerie qui y débouchent, peut-elle être remblayée en deux ou trois années. D'après ces chiffres, en deux générations, l'emplacement des installations ensablées devenait, après un temps d'abandon, difficile à retrouver par les oasiens.

Le paysage des *barkhanes* est donc très récent, puisqu'il recouvre les ouvrages d'irrigation, tel ce *qanat* de type iranien sur la face ouest d'Aïn Manawir (photo 40). Il est à mettre en relation avec une aridification du milieu accompagnée d'un léger changement dans l'orientation du maître-vent. Dans la plaine, l'apparition tardive des dunes traduit un assèchement encore plus accentué du milieu dont il s'agit de savoir si plus localement il est le fait de l'homme ou de la nature ? La modification du bilan d'eau est-elle liée à la mise en valeur du milieu ou bien relève-t-elle de fluctuations d'ordre climatique [135] pendant l'Holocène [136] ou l'époque historique ? La question peut être posée, car les formes du ruissellement semblent avoir été également soumises à de telles variations, alors que le secteur n'était pas encore colonisé par les habitants de l'ancienne Kysis et des bourgades voisines.

[134] H.J.L. Beadnell, *op. cit.*, 1910.

[135] Les effets d'une période plus sèche réduisant l'extension de la forêt humide équatoriale viennent d'être décrits par D. Schwartz, « Assèchement climatique vers 3000 BP et expansion bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions », *BSGF* 163/3, 1992, p. 353-361 ; J. Maley, « Commentaires sur la note de D. Schwartz », *BSGF* 163/3, 1992, p. 363-365, 1 fig. Une telle situation peut s'accompagner d'une humidité plus élevée (précipitations occultes ou condensations nocturnes) pour la partie orientale du Sahara expliquant l'extension des terroirs des oasis à l'époque de l'occupation gréco-romaine des sites.

[136] K.S. Sandford, « Past Climate and Early Man in the Southern Libyan Desert », *GeogJourn* 82/2, 1933, p. 219-222.

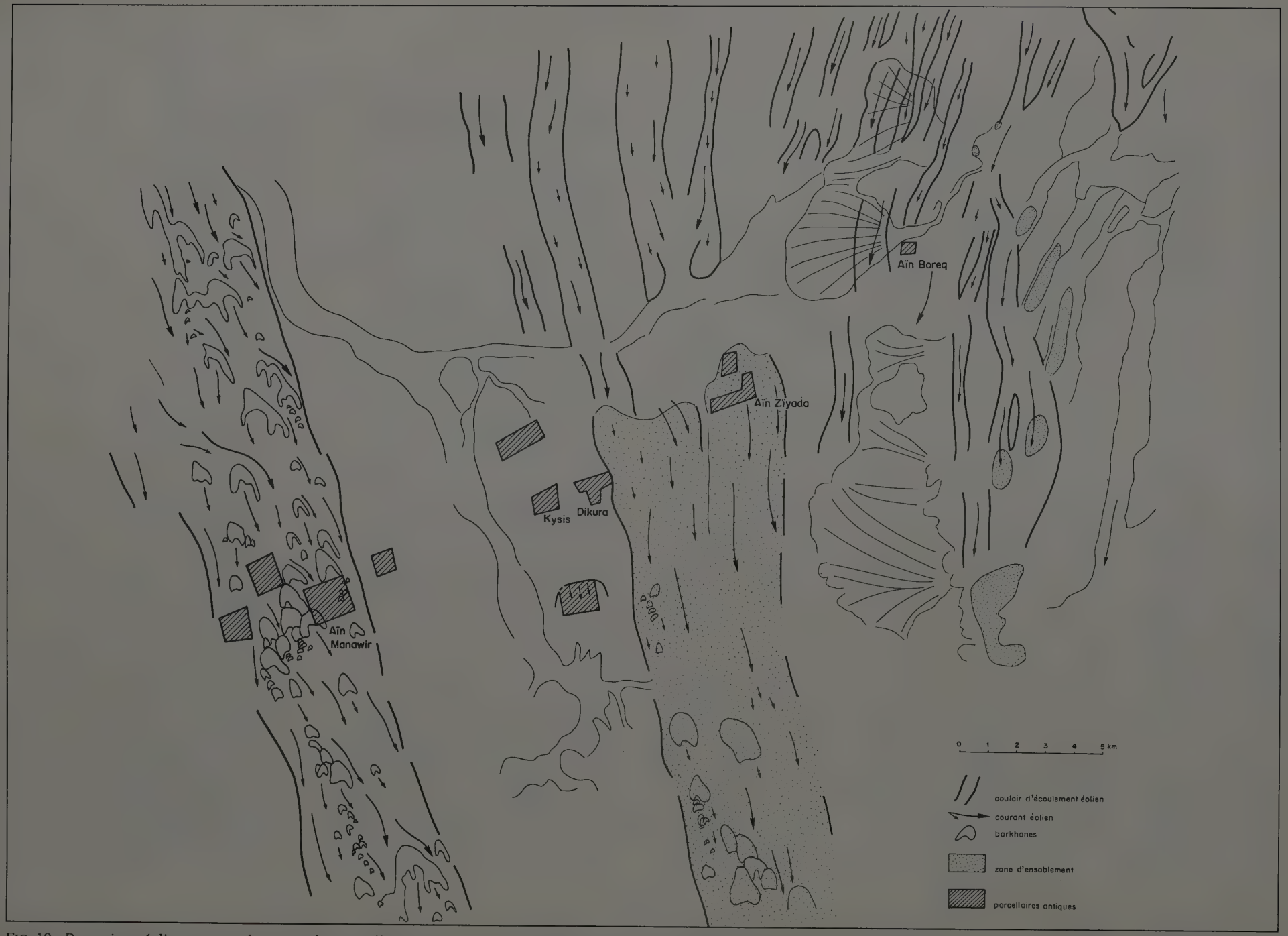


FIG. 19. *Dynamique éolienne et emplacement des parcellaires.*

2.7 LE PIÉMONT ET SON MODELÉ DE DISSECTION

L'ensevelissement des formes par le sable est le fait majeur de l'évolution morphologique actuelle. Mais, le ruissellement sur les pentes et l'écoulement concentré dans les thalwegs sont responsables du modelé de dissection. À l'échelle moyenne du piémont, bien qu'il soit en cours de fossilisation, le ravinement reste la figure la plus spectaculaire de l'évolution morphologique antérieure à l'actuelle. Situé dans un désert hyperaride, l'embayment de Baris ne subit plus que sporadiquement les effets de l'écoulement. Le total des précipitations est inférieur par définition à 50 mm/an (Assiout 2 mm/an), et le rythme très irrégulier des pluies (la pluie diluvienne la plus récente date de plus de dix ans) est incapable d'assurer un écoulement régulier et de faire évoluer le lit des oueds [137]. Les ravins et les chenaux d'écoulement ne sont plus fonctionnels (photo 20). Ceux qui incisent les pentes et le piémont sont donc hérités (photo 22).

Même si l'on trouve des témoignages de crues morphogéniques dont les effets sont légèrement ensablés, ces événements sont sporadiques et ont pu se dérouler depuis un certain temps. À Aïn Boreq, le parcellaire antique reste exposé à des décharges de crue puisque l'une d'entre elles fit disparaître son secteur le plus amont (photo 14). Comme il est toujours visible, bien qu'il soit installé sur une très basse terrasse de l'oued, ces anomalies météorologiques paraissent de ce fait peu fréquentes.

Il en fut autrement avant la période historique. Le ravinement profond des talus de l'escarpement, l'étagement et la dissection des cônes-glacis du piémont (photos 35, 41), les cônes et les nappes d'épandage de la plaine de Douch ou les chenaux d'écoulement sont autant de témoins du travail et de l'énergie des eaux de surface. Leur étude permet de comprendre l'évolution du modelé, d'en établir la chronologie et de suivre la transformation du milieu au cours de la mise en valeur des basses terres. Ce modelé révèle donc une histoire morphologique où les bilans hydriques présentent des fluctuations extrêmes.

Le paysage de dissection peut ainsi être abordé selon une analyse géomorphologique rétrospective. Entre les épisodes d'écoulement hydrique, l'activité éolienne intercala ses actions dont celles qui subsistent pour les plus anciennes sont les figures de corrasion. Certains des ensablements se révèlent en revanche récents, les plus anciens, moins nombreux, ont nourri partiellement les dépôts de décharge étalés dans l'embayment.

[137] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 13-14 et fig. 1.9.

2.8 LES CONDITIONS À L'ORIGINE DE LA DISSECTION DU RELIEF

Elles ne sont pas celles du présent. Elles n'eurent jamais les effets de celles qu'on rencontre à des latitudes plus septentrionales. Pour le rebord de la hamada, le drainage anaclinal prédomine en raison de la structure tabulaire des dalles calcaires. Mais il est propre à chaque front. De la sorte, aucun drain ne recoupe l'escarpement double, même pas à la hauteur du Naqb Douch, malgré l'exploitation par l'érosion différentielle du linéament tectonique. Le stade poussé de démantèlement du relief structural n'est donc pas atteint. Les collines de l'embayment doivent leur position à la tectonique ; elles ne sont pas des buttes-témoins classiques de dissection.

Preuve de la jeunesse de l'incision, les conditions structurales favorables à l'installation d'un réseau n'ont jamais été en effet exploitées totalement. À peine si toutes les cassures transverses aux corniches localisent les ravins (photo 21). En conséquence, il semble que les facteurs climatiques n'ont jamais été tels qu'ils aient favorisé un écoulement apte à élaborer un réseau capable de recouper l'abrupt de la hamada (photo 20), par érosion régressive, comme on peut l'observer pour l'autre front au-dessus du Nil. Le profil longitudinal des gorges les plus profondes reste accidenté de ruptures de pente qui sont restées des cascades, comme le montrent les vallées encaissées au sud du Naqb Douch.

Au cours des périodes les plus favorables, on en conclut que l'écoulement a été au mieux spasmodique. Le matériel des glacis-cônes le prouve. Il est composé de blocs et de cailloux peu émoussés (photo 42) et par la suite fragmentés sur place. Des écoulements courts, violents mais éphémères ont été capables de transporter des charges volumineuses, cependant sans dépasser le domaine du piémont. Abandonnés dans les chenaux, les blocs ont évolué entre les crues sous l'action des processus élémentaires de la fragmentation (thermoclastie, hydroclastie, haloclastie) et de la corrasion éolienne. Le pavage réduit par l'abrasion éolienne expose des galets comme tranchés par la moitié (photo 26).

Ce matériel grossier montre que le milieu est alors à la fois marqué par la sécheresse saisonnière en même temps que par un refroidissement de l'air. L'aridité s'atténue, les écoulements sporadiques deviennent possibles par l'apparition d'une saison fraîche comme l'indique l'évolution des versants qui se sont couverts de débris. Le profil des pentes actuel est en revanche caractérisé par une très grande stabilité liée à la paralysie des actions météoriques et à l'inefficacité du ruissellement pluvial. Une autre cause de cette paralysie provient du pavage des pentes, compris comme un héritage constitué à partir de plusieurs générations de dépôts si grossiers qu'ils empêchent de plus en plus la concentration des eaux en surface (photos 23, 43).

Ainsi la dissection du relief, si elle s'est montrée possible, résulte-t-elle en fait d'épisodes dynamiques violents mais de durée brève, et les plus violents étant chronologiquement les plus anciens. Leurs effets se montrent en revanche défavorables à une reprise de la dissection malgré le retour épisodique de conditions propices à sa poursuite. Du Quaternaire jusqu'à l'Actuel, la dissection s'atténue au cours du temps (photos 9, 12, 17, 20, 21, 23, 35, 44). On note désormais une évolution très lente à la fois des pentes des fronts et des lignes de thalweg.

2.9 L'INERTIE MORPHOLOGIQUE ACTUELLE DES FRONTS À CORNICHE ET À TALUS

Cette inertie se traduit par une grande stabilité des pentes en raison de l'inefficacité du ruissellement. Les évolutions *in situ* priment (photos 35, 41, 44).

Les preuves de la stabilité actuelle des pentes sont nombreuses, d'ordre mésologique et anthropique. Des phénomènes superficiels de météorisation sur les affleurements rocheux cohérents, calcaire ou grès, et sur les blocs éboulés indiquent une faible agressivité des processus élémentaires actuels. En effet les vernis et les patines hérités subsistent sans progresser. Des vernis bruns ou noirs suivant leurs teneurs en oxydes métalliques habillent les grès telles les collines « noires » traversées par la route de Kharga à Assiout ou par la piste de Baris à Armant. Des patines beiges ou rousses s'étendent sur les calcaires (surface du replat structural calcaire de Naqb Douch). Leur épaisseur peut être supérieure au millimètre [138]. Ces teintes contrastent avec celles plus claires des matériaux lustrés par l'écoulement du vent [139]. La netteté de la différence permet de reconnaître l'extension et les remaniements sporadiques des dépôts les plus récents. Ainsi une surface polychrome que traverse la piste de Baris à Armant définit-elle le sommet du plateau crevé de dépressions fermées (dolines et ouvalas d'origine karstique), qui jouent le rôle de niveau de base local pour les alluvions remaniées des petits oueds qui à l'approche de la vallée du Nil incisent le relief.

Aujourd'hui, la production de patines et de vernis où interviennent à la fois des processus physico-chimiques et biochimiques par l'intermédiaire de plantes (lichens) ou de processus biologiques élémentaires ne se réalise plus. Par exemple, à la surface du replat structural, la bande claire à l'aval d'une zone à patine brune traduit une exhumation récente du plan stratigraphique sans que la dénudation ait été suivie de la progression de la patine la plus sombre. Sur les parois calcaires des plus hautes corniches, au sud du Naqb Douch, on observe la destruction par desquamation d'un vernis sombre, comme on l'observe de l'autre côté du plateau dans la vallée des Reines. Dans ces conditions, patines et vernis constituent des revêtements hérités. Leur présence démontre l'efficacité très ralentie de la fragmentation ou de la desquamation de surface. De même la dissolution se montre inefficace à la surface des calcaires. Les conditions climatiques très sèches l'expliquent largement. Il n'en fut pas de même auparavant. La formation des patines et des vernis postule une humectation des faces et donc des situations synoptiques à fort degré hygrométrique, et à précipitations occultes fréquentes par condensations nocturnes. La minceur des dépôts indique toutefois un climat resté dans une gamme aride à semi-aride.

On peut se demander si un tel phénomène plus fréquent autrefois qu'actuellement n'a pas été utilisé pour améliorer le débit et le régime des *qanawat* au temps de leur utilisation.

[138] Cf. les boules calcaires fracturées sur le plateau le long de la route d'Assiout, site dit des « champs aux melons », cf. G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, *op. cit.*, 1932.

[139] Cf. les alluvions blanches du parcellaire d'Aïn Boreq.

Comment en effet peut-on expliquer que certains de leurs regards aient la forme d'une tranchée étroite et longue, sans protection de son ouverture et que ses parois hautes de plusieurs mètres soient en outre recouvertes d'un enduit lisse (*mouna*, photo 102) (*qanat* de Dikura), si ce n'est, hors la raison d'une finition remarquable, celle de présenter des surfaces lisses et rapidement refroidies qui puissent jouer le rôle de surface de condensation et de ruissellement ?

Si l'usage [140] que suggère la nature de ces surfaces est exact, ces épisodes de condensations nocturnes ont eu lieu à l'époque historique au cours même de l'occupation du site. Elles indiquent de légères fluctuations des conditions climatiques suffisamment longues (au moins séculaires) pour être intégrées à la mise en valeur des terroirs [141].

Ne peut-on y voir la manifestation assez régulière de fluctuations de la mousson en relation avec les upwelling le long du littoral, capables alors de s'avancer en latitude jusqu'à affronter des arrivées d'air plus froides venues du continent asiatique, en particulier au printemps ?

2.10 L'INEFFICACITÉ DU RUISSELLEMENT

Les morsures du ruissellement ne peuvent être observées que sur les talus des roches tendres. Elles sont rares.

Pour l'Actuel, elles se traduisent par quelques rainures anastomosées, façonnées par des nappes hydriques ou pluviales pelliculaires diffuses. Et, par le dépôt d'une pellicule d'argile nappant les canalisations crevées des installations hydrauliques antiques (Aïn Boreq), ou recouvrant les flancs des buttes profilées (Tell-Douch, Aïn Ziyada). De même, quelques rigoles sur des pentes plus fortes indiquent un ruissellement concentré mais épisodique (Aïn Manawir, piémont du Naqb Douch, (photos 23, 43). Enfin, des ravins sous la forme de gouttières évasées, séparés par des interfluves émoussés, convexes et arrondis traduisent une stabilisation ancienne de l'entaille (revers de Tell-Douch, d'Aïn Manawir, d'Aïn Ziyada).

Autre indice, la rareté des éboulements par soutirage des marnes ou des argilites au front des corniches. Les blocs effondrés frais sont rares (corniche du Naqb Douch). Des plaques décollées découvrent parfois le substratum (Naqb Douch), mais sur des superficies médiocres (quelques m^2).

En fait l'attaque des eaux sur les pentes lors de pluies diluviennes rares reste inopérante en raison du pavage de débris qui gêne la concentration linéaire des écoulements. Nulle part en effet ne se développe un véritable modelé de badlands dans les talus de roche tendre. Ni auparavant non plus. Seuls de grands ravins géométriquement simples incisent

[140] C'est à partir de détails de cette sorte (surface de mur ou de pierre levée) que Jacqueline Pirenne a suggéré la première de tels usages dans un désert proche, *La maîtrise de l'eau en Arabie du sud antique. Six types de monuments techniques* II, 1977.

[141] D. Schwartz, J. Maley, *op. cit.*, 1992.

le rebord de la hamada (photos 21, 41). Au contraire, les nappes détritiques, en outre lustrées par le vent depuis leur mise en place, indiquent une grande stabilité des profils. L'inertie de cette morphogenèse se traduit également par le fait que subsistent sur les versants les plus tendus d'anciens dépôts de pente grossiers (photos 41, 44). Leur granulométrie les rend insensibles aux écoulements médiocres sur pente. La preuve en est apportée *a contrario* par la présence d'anciennes traces de passage de troupeaux conservées sur des versants, assez éloignées de la piste chamelière qui conduit à Kom Ombo. Ces traces suggèrent un milieu plus humide et accueillant (pâturage) et des conditions présentes d'évolution nulle s'il s'agit de comprendre leur conservation sur des pentes fortes (30-35°), au dévers proche d'un profil où la descente des débris peut être déclenchée par la gravité (photos 22, 42).

L'hyperaridité actuelle du milieu s'exprime par le maintien de cette morphologie ancienne. En outre les formes de dissection héritées indiquent que le seuil de l'aridité n'a jamais été dépassé. Il ne semble pas que ce secteur ait eu à subir les effets d'un climat semi-humide. Autrement dit, le total des précipitations semble n'avoir jamais dépassé les 150 mm/an au cours des épisodes dits humides du Quaternaire. Pendant la période historique, malgré un apport sans doute non négligeable des condensations nocturnes, la production des oasis a toujours été celle d'une agriculture irriguée. Il y eut cependant des périodes de morphogenèse plus intense, comme en témoignent l'emboîtement des formations détritiques du piémont et leur dissection.

2.11 LES PENTES EN ROCHE TENDRE ET LEUR PIÉMONT DÉTRITIQUE

Le talus du front inférieur est caractérisé par un modelé composite. Il est défoncé par de grands ravins dont les têtes remontent jusqu'en contrebas de la corniche sommitale. La paroi est marquée par l'effondrement progressif de la dalle calcaire (photos 20, 27, 43, 45). Les interfluves qui séparent les incisions, se présentent sous l'aspect de grandes facettes habillées de nappes détritiques grossières (photo 3). À la base de l'abrupt viennent s'enchâsser les racines des cônes-glacis que côtoie l'extrémité des revêtements de débris.

D'une dénivellation moindre, le talus supérieur présente également des ravins au profil moins tendu, mais capables de disséquer la surface du plateau, de déclencher des effondrements de corniche et de causer la descente des blocs détachés de la dalle. Les facettes du talus en revanche sont couvertes d'éboulis à sec, à la surface lustrée par le vent.

À partir de ces différents témoins, on peut distinguer les restes de plusieurs paléotopographies. On en dénombre au moins trois, engagées sous les résidus d'une première très perchée à leur amont. Cet emboîtement, la multiplicité des formations détritiques, blocs effondrés, nappes de blocs, éboulis à sec, et la diversité des formes, ravins, facettes géométriques, pentes régulières, conduisent à la reconstitution de systèmes morphogéniques successifs, qui oscillent entre le subhumide et le très aride (photo 3).

2.11.1 LES DIFFÉRENTS DÉPÔTS DÉTRITIQUES DE PENTE ET DE PIÉMONT

On peut en dénombrer trois : les nappes à blocs, les éboulis à sec et les blocs effondrés et glissés. Ils résultent de conditions morphoclimatiques qui se sont modifiées au cours du temps.

Les nappes à blocs se présentent comme des revêtements détritiques, épais de 2 à 3 m, chaotiques, ayant l'aspect d'une couche de débris, constituée de pavés mal équarris, accompagnée d'une blocaille hétérométrique peu ou mal émoussée et prise dans une matrice fine, claire, grise à verdâtre et de plus en plus abondante à la base du recouvrement détritique (photo 42). Le contact est progressif avec le substratum. Il s'établit par l'intermédiaire d'une couche (50 cm) argilo-marneuse dont le faciès est celui d'un matériel écrasé et plastique. Les blocs livrés par la corniche ont été mis en place sur un versant fortement saturé en eau et qui a servi de surface de glissement. Plus qu'un éboulis, il s'agit d'un empâtement de versant par des trains de blocs dont certains atteignent des masses assez volumineuses (10 m × 7 m × 4 m). Cependant un certain amenuisement du matériel se réalise au cours de la descente. Cet empâtement peut s'accompagner à l'amont de véritables glissements en masse, procurant à l'éperon de Naqb Douch son allure ruiniforme de paquets glissés étagés, séparés par des abrupts d'arrachement (photos 27, 46).

Plusieurs nappes détritiques peuvent être repérées (photos 3, 20, 44, 47). Perchée au sommet de la pente de raccord à la plus grande dénivelée (150 m de haut), la plus ancienne est isolée des quatre autres (photo 21). Étalées sur des surfaces régulières (glacis), les couvertures détritiques de ces autres (photos 30, 29, 44) se trouvent perchées les unes par rapport aux autres à la suite d'une dissection récurrente dont le dernier épisode a reculé ses entonnoirs de ravinement nettement en arrière de la toute première nappe. Il en est résulté un effet de soutirage généralisé à l'ensemble de la corniche qui explique en grande part l'effondrement progressif de son rebord calcaire ou la reprise des effondrements (photo 18). En fait il faut distinguer deux temps à cette évolution morphologique pour expliquer l'étagement des lanières de glacis.

Le premier explique les convois de blocs qui, perchés par la dissection récurrente, se rapprochent en fait de chenaux mis en relief par inversion. On peut parler à leur propos plutôt de laves torrentielles à relief inversé. Ces dernières ennoient d'abord une topographie irrégulière de ravins comme permet de l'observer à proximité de la corniche dans les thalwegs récents la mise au jour de ces interfluves enfouis (photo 35). Puis elles fossilisent une topographie de glacis à l'aval (photo 44).

Le ravinement caractérise le second. Le modelé de dissection (photo 17) se trouve donc emboîté à l'intérieur d'une topographie de vastes cônes-glacis de piémont, qu'il découpe en lanières.

Les éboulis à sec nappent les talus du front supérieur ou les pentes à substrat tendre qui raccordent entre elles les lanières des cônes-glacis du piémont (photo 44). Les pentes les plus récentes en sont dépourvues. Les voiles caillouteux se présentent sous l'aspect d'une mince nappe de débris assez plats et anguleux, qui s'épaissit à la base de la pente de transport, d'une valeur supérieure à 30° à l'amont (photos 41, 43). À ce pavage continu s'ajoute le sable soufflé actuel. La nappe de débris repose directement sur le substrat (photo 17). Elle peut être légèrement

cimentée à sa base, preuve d'un écoulement au chimisme en relation avec une humidité récurrente. En surface, elle est lustrée par le vent et démontre ainsi la faible agressivité des agents de transport du climat actuel. Peu d'éclats frais jonchent en effet ces manteaux, de ce fait largement hérités. Les remaniements de surface sont également rares (photo 43). Peu de descentes catastrophiques perturbent la régularité de l'enveloppe.

Les blocs effondrés des corniches représentent un troisième type de dépôt détritique (photos 18, 45). Comme limite de la surface structurale du replat, la corniche est précédée de fissures longitudinales qui recoupent la rainuration éolienne. Ces fentes (quatre à cinq) parallèles entre elles sont des fissures béantes de détente à l'origine des éboulements qui s'effectuent plus en aval. Les blocs disloquent le bandeau calcaire, s'en détachent en rangs parallèles au nombre d'une dizaine, glissent et basculent. Sur la pente, plus en aval, la reptation et le basculement désorganisent leurs alignements que masque l'ensablement progressif actuel. Puis, les blocs s'engagent en désordre dans les têtes de ravins où ils s'affaissent jusqu'à encombrer leur thalweg.

Les faces d'arrachement se surchargent de figures de corrasion dont la répartition dépend de leur entraînement progressif. Les dernières s'ajoutent aux plus anciennes gravures effectuées à la surface du plateau, si reconnaissables par leur profondeur. Les plus récentes paraissent sur les quartiers de roche déjà engagés dans les ravins ou, au pied même du talus, arrêtés par les blocs des convois antérieurs, patinés et déjà marqués eux-mêmes par la rainuration éolienne (photo 30).

Ces fragments de roche volumineux jonchent donc autant les versants de dissection récents que les surfaces des cônes-glacis ou que les facettes des talus anciens. Il n'existe pas entre les générations de caractéristiques différentielles. Les familles successives semblent s'être développées à partir de processus et de conditions de milieu similaires et récurrents. Les rainures devenues cannelures prouvent le basculement accidentel.

On ne peut exclure pour l'effondrement le plus ancien une mise en place de type catastrophique. On remarque en effet que ce dépôt se répartit préférentiellement au droit de la zone de broyage qui accompagne le décrochement (photos 3, 18, 46). La mise en place suppose une énergie très élevée que peuvent fournir les séismes, et d'autant plus efficace que le substratum est profondément humidifié. Les apports hydriques peuvent dépendre de venues d'eau artésiennes. La crue des nappes phréatiques s'expliquerait d'autant mieux que cette évolution rapide se situerait au passage d'un pluvial à un aride, après que les nappes hydrogéologiques profondes ont été rechargées. La position topographique comme les relations stratigraphiques avec les cônes-glacis du piémont placeraient cet événement après l'établissement du cône-glacis immédiatement postérieur au plus ancien, dont il ne reste *in situ* que des vestiges médiocres. Une grande part de la toute première couverture aurait donc été détruite par le glissement, d'autant plus efficacement que sa position très dominante d'amont a facilité son démantèlement et sa destruction.

Une évolution comparable a été reconnue en Libye [142]. Les conditions structurales sont voisines. L'explication proposée n'envisage toutefois que des causes climatiques. Au Naqb

[142] J. Grunert, D. Busche, «Large scale Fossil Landslide at the Msak Mallat and Hamadat Manghini Escarpment», in M.J. Salem, M.T. Busrewil (éd.), *The Geology of Libya* III, 1980, p. 849-860. Exemples d'évolution catastrophique depuis le Plio-Quaternaire au Sahara signalés in P. Rognon, *Biographie d'un désert*, Paris, 1989, p. 198.

Douch pourraient s'ajouter à ces dernières des effets sismotectoniques, amplifiés par les éruptions hydriques d'origine artésienne. Le résultat de telles venues d'eau a pu être constaté en Irpinie, à la suite d'une rupture de canalisation hydraulique par un séisme [143]. L'imbibition brutale qui a conduit le matériel tendre au delà du seuil de liquidité a entraîné la mise en train, après arrachement, de véritables coulées de boue dont les dimensions étaient à l'échelle de la totalité du versant.

2.11.2 L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DU VERSANT

Les blocs effondrés, les laves torrentielles à l'origine des nappes de blocs, et les éboulis à sec répondent à des processus morphogéniques qui relèvent de conditions différentes à l'intérieur d'une même séquence, ou dépendent de pluviosités très opposées d'une séquence morphoclimatique humide-aride à l'autre. Le modelé caractérisé par l'étagement des couvertures détritiques suppose l'existence de plusieurs épisodes de dissection (fig. 13). La décroissance de l'amplitude des emboîtements correspond de son côté à une diminution de l'incision des reprises d'érosion. En outre, la minceur des éboulis à sec démontre que le recul des versants se révèle lent à l'intérieur des secteurs récemment disséqués.

Deux formations à blocs sont à distinguer, qui nuancent le systématisme qu'elles pourraient suggérer, comme le gradient morphoclimatique qu'elles pourraient faussement introduire. L'une de type catastrophique est définie par le semis de blocs qu'on observe en contrebas du Naqb Douch ; l'autre de type torrentiel semi-aride caractérise les couvertures détritiques des cônes-glacis étagés qui constituent le piémont de la hamada (photos 44, 29). En effet, si l'effondrement de la corniche a fourni les plus gros blocs, la présence des moins volumineux suppose l'intervention d'une humidité plus élevée que l'actuelle. Si leur faciès indique une fragmentation acquise après leur dépôt, leur agencement en couverture relève d'un transport dont l'efficacité a été déjà mise en évidence pour les piémonts d'Afrique du Nord [144].

Le soutirage explique la mise en porte-à-faux des pans de corniche et le détachement de la fraction la plus grossière des dépôts. La taille des blocs est commandée par le découpage structural de la roche. Mais il s'y ajoute une fragmentation ultérieure d'ordre morphoclimatique, preuve de la faible agressivité des processus élémentaires de fragmentation au moment du détachement par soutirage.

La géomorphologie indique ainsi la mise en œuvre de processus nombreux, répartis en systèmes morphogéniques (fig. 13).

[143] Réalisation de coulées de solifluxion considérées comme des effets secondaires accidentels d'œkoumène, M. Lippmann, « Le rôle des séismes dans la morphogenèse des versants en Italie méridionale d'après les événements du séisme irpinien du 23.11. *(19)*80 », *Méditerranée* 51/1-2, 1984, p. 33-34 ; M. Lippmann, « Analyse sommaire des impacts du séisme du 23.11. *(19)*80 en Campanie (Italie méridionale) en vue de l'aménagement », *Méditerranée* 46/3-4, 1982, p. 7-10.

[144] R. Raynal, *Plaines et piémonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental), étude géomorphologique*, Paris, thèse de lettres, 1961.

Le profil des corniches est une succession de surfaces d'arrachement commandées par la fracturation. On y définit des profils où la gravité jointe au soutirage explique le recul. Les secteurs en déséquilibre que définit une bande plus ou moins large et plus ou moins lacérée de fissures, subissent les effets d'une dissection régressive plus ou moins récente selon les secteurs.

En contrebas, le matériel des nappes détritiques a subi une évolution *in situ*. Certains amas de blocs réduits à l'état de collines ou de monticules ruiniformes illustrent cette longue évolution sur place. La réduction du matériel postule qu'une partie des débris qui constituent les nappes est d'apparition postérieure au transport.

En revanche, les têtes de ravins qui se développent en amont des témoins des nappes les plus anciennes, sont récentes et raccordées au niveau de base le plus profond. L'agencement en étages des nappes détritiques répond à une mise en place progressive, mais leur modelé amont est sans cesse ravivé par les processus catastrophiques ou morphoclimatiques récurrents de type torrentiel.

L'inertie morphogénique caractérise en revanche la surface des cônes-glacis (photo 29). Le corroborent les blocs qui, scarifiés par de multiples figures de corrasion éolienne (photo 30), démontrent la lenteur de cette évolution, opposée au très court laps de temps à l'intérieur duquel s'inscrit chaque fois la phase active qui provoque le démantèlement de la corniche. Ce mode d'évolution traduit bien le rythme heurté des climats dominés par l'aridité qu'appelle le fort calibre des blocs, comme l'intervention d'un catastrophisme sismique assisté par des venues d'eau explique l'aspect chaotique de ces hauts de pente [145]. La double origine de ces premiers piémonts est notifiée par la discordance du faciès de destruction sur la couverture du glacis (photo 45).

La constitution des nappes à blocs réclame de l'humidité. L'intervention d'une fragmentation mécanique pour expliquer l'hétérométrie du matériel suppose, de même, plus de fraîcheur thermique. Cette dernière est également indispensable pour comprendre la mise en place. La descente par reptation des débris (photo 37) demande que le versant soit saturé sans cependant que le substrat atteigne le stade de la liquéfaction. Localement, des montées artésiennes d'eau l'expliqueraient.

Ainsi les argilites des talus doivent-elles approcher l'état de faciès lubréfiant, mais non celui de la boue, qui serait la marque d'un dépassement de limite. L'humidification du substrat est donc nécessaire jusqu'à un certain seuil. Elle entraîne la mise en place des blocs glissés et des paquets effondrés en masse du Naqb Douch, mais également celle des nappes détritiques et des convois de blocs qu'on y décèle (photo 42). Elle permet une évolution brutale [146] et en même temps représente le régime climatique du moment pour expliquer les trains de blocs. Chaque fois, elle facilite la descente par gravité, laquelle s'intercale entre des périodes à rythme morphogénique plus lent.

[145] Évolution dont les conditions sont définies et discutées sans toutefois envisager l'origine sismique de telles accumulations in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, en particulier, chap. 6, « Paleoenvironment of the Western Desert of Egypt », p. 223-241, à propos des témoins de l'environnement pré-acheuléen.

[146] Type vallée des Reines sur l'autre abrupt du plateau.

Le rôle du ruissellement et des écoulements en nappe pluviales ruisselantes est prépondérant pour expliquer l'évolution des talus de raccord. Il se montre capable d'étaler les débris sur les pentes régulières à 20° sans établir un long profil concave à la base des versants (photo 34). La lenteur de l'amenuisement des éboulis et la faible croissance de la présence des moyens de transport en rendent compte. L'empâtement se réalise peu à peu à la suite de reptations généralisées. Ce mode de mise en place exclut toute incision linéaire concomitante (photo 41). Les ravins qui perchent les assemblages de blocs sont donc postérieurs. Ils procèdent par inversion de relief. Et la pente ne diminue qu'avec la concentration de l'écoulement dans les ravins.

La production d'éclats est plus complexe. Le détachement du débris met en cause des processus d'ablation élémentaire d'ordre mécanique. Elle est en outre récurrente. La question est de savoir si le fragment résulte de chocs thermiques (thermoclastie) ou s'il est le produit du rafraîchissement thermique qui accompagne la période humide (hydroclastie) ou d'un froid plus accentué (cryoclastie) ?

Les éclats sont plats, en lamelles, le plus souvent éolisés. Leur face n'est jamais affectée d'un guillochage, de rainures fines, de cupules. S'il est difficile d'envisager à cause de la masse produite une fragmentation relevant exclusivement de la thermoclastie en raison de la lenteur de ce processus, il semblerait que les éclats aient pu être produits par l'haloclastie et l'hydroclastie (artésianisme). Le substratum peut fournir les sels ; et la mise en place par reptation des trains de blocs prouve la forte humectation en eau du support lithologique. En outre, les condensations nocturnes ont pu jouer un rôle non négligeable.

Mais en raison de l'altitude même faible du plateau, on ne peut écarter totalement l'intervention d'une cryoclastie sous climat sec et frais, dont on sait par ailleurs la récurrence faible à cet étage. La généralisation des éboulis à sec sur les pentes y fait-elle appel partiellement ? Actuellement des températures autour ou en dessous de 0° ne sont pas rares [147]. Ces oscillations pouvaient être plus nombreuses et plus dynamiques sous climat à condensations nocturnes plus fréquentes. Le dispositif topographique a facilité le développement d'inversions thermiques qui se montrèrent favorables à la fragmentation du matériel lité.

Préparation du matériel, étalement et transport des débris font référence à une plus grande humidité et à l'intervention d'une saison fraîche. La conjugaison des deux rend efficace le système morphogénique semi-aride.

[147] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 12, § « Modern Environment » p. 11-15.

2.12 LES SYSTÈMES MORPHOGÉNIQUES À L'ORIGINE DE L'ÉVOLUTION DES PENTES

Les différents modes de production de débris réclament des conditions climatiques différentes des actuelles. La fragmentation fait appel à une humidité plus élevée, alors que l'incision relève d'une accentuation de la sécheresse, sans comparaison toutefois avec celle d'aujourd'hui.

La prépondérance des processus mécaniques est compatible avec une certaine aridité, due à la sécheresse de l'air plus qu'à des conditions thermiques négatives. Ces dernières semblent cependant avoir joué un rôle au cours de l'élaboration des éboulis à sec. Elles s'accompagneraient d'un gel épisodique à l'efficacité ménagée.

Les processus de transport des blocs dépendent d'un ruissellement élémentaire d'origine pluviale. Aucun ravin n'a été fossilisé dernièrement par de tels transports. La faible activité des ruissellements explique le recul minime du talus, malgré le faible volume des matériaux à évacuer. Il faut cependant admettre une pluviométrie supérieure à l'actuelle, comme une pluviosité différente. L'emboîtement des versants dépend essentiellement de la modification du système d'érosion, même pour les évolutions de type catastrophique. Toutefois on ne peut complètement rejeter l'influence de séismes dont on sait qu'ils ont été à l'origine de la détérioration de monuments pharaoniques dans la vallée du Nil (Ramesseum, colosses de Memnon, et, plus près, temple de Douch). La conjugaison de terrains fortement humectés et d'ondes sismiques peut être à l'origine de l'effondrement en masse de l'abrupt.

Un artésianisme morphogénique n'est pas non plus à rejeter. Il peut être à l'origine de mécanismes de suffosion ou d'éruption hydrogéologiques avortées [148].

La diversité des formations superficielles fait appel à des bilans hydriques différents, compatibles avec les variations de l'humidité au cours d'un pluvial. Chaque formation pourrait avoir ainsi la signification d'une étape dans le déroulement de la période humide. Le modelé conserve les formations corrélatives de ces évolutions morphoclimatiques. Il traduit l'influence de cette succession d'épisodes humides, puis secs qui scandent l'histoire du Quaternaire. On a donc affaire à un modelé hérité (photo 47) que le sable oblitère peu à peu (photo 35). La mise en place des quatre à cinq nappes détritiques qui constituent les cônes-glacis du piémont suppose qu'elle se soit effectuée sur la longue durée du Quaternaire, en fonction de systèmes morphogéniques ni tout à fait différents, ni tout à fait semblables.

Les retouches par forte pluviométrie sont rares de nos jours. Elles correspondent à des moments qui peuvent avoir lieu à tout instant. Elles se traduisent par l'étalement de petits cônes en bas de pente (photo 23) et par des bourrelets de crue le long des lits d'oueds (photo 47). À leur extrémité on aboutit à l'embayment de Baris dont l'évolution morphologique diffère en raison des conditions lithologiques et topographiques.

[148] Cf. les tâches claires et rondes dans les argilites vertes du piémont.

2.13 LA PLAINE DE DOUCH ET SON MODELÉ

La dépression triangulaire que bornent au sud les collines dissymétriques, à l'est – nord-est le front de la hamada et au nord – nord-ouest l'essaim de *barkhanes* étiré depuis Baris jusqu'au delà d'Aïn Manawir, est une cuvette d'épandage (playa) remodelée par le vent et dérivée d'un ancien embayment (glacis-plaine), incisé par des drains au cours ensablé (chenaux encaissés d'oued, photo 48). Elle se caractérise aussi par la présence de croûtes gypseuses (sebkha, photo 1), dont le développement en partie historique est en accord avec la dessiccation croissante du milieu.

2.13.1 TRANSFORMATIONS MORPHOGÉNIQUES DE LA PLAINE DE DOUCH

L'embayment de Baris (photos 2, 23) présente une très subtile topographie emboîtée que révèle la zonation centripète des modelés. En fonction d'un niveau de base local et variable, les unités morphologiques emboîtées révèlent une histoire complexe au cours de laquelle l'embayment originel [149] s'est modifié.

En outre, la transformation progressive de la surface des accumulations détritiques alluviales en reg ainsi que leur recouvrement par des nappes sableuses éoliennes, peu épaisses et successives soulignent cette évolution morphodynamique de plus en plus marquée par l'aridité.

Actuellement, la plaine de Douch constitue un fond de dépression endoréique, atténuée par une couverture détritique en position de basse terrasse d'épandage par rapport aux cuvettes de surcreusement hydroéoliennes [150] qui définissent les secteurs topographiquement les plus bas. Les couvertures aréniques ont été mises en place par des ruissellements étendus et constituent l'héritage d'un Quaternaire périodiquement plus humide, comme l'indique l'évolution des talus de la hamada. Par dessus sont installés les témoins d'un système morphogénique à la dynamique essentiellement éolienne, et dans lequel la part de l'eau est très restreinte, même si de courts ruissellements concentrés ont pu modeler des rigoles erratiques et des écoulements intermittents à bout de course (photos 22, 23) mêler leurs rares chenaux anastomosés, vite évanescents au centre de la dépression (photos 10, 48).

Par ailleurs, autour des collines, la plaine se présente sous l'aspect de glacis perchés par encaissement des oueds dont les cours sont désormais fossilisés par les apports sableux. En position d'interfluves, les plans d'érosion affleurent par endroits (nécropoles de Douch, d'Aïn Ziyada, d'Aïn Manawir) et leur substrat à nu subit directement les effets des processus élémentaires du désert, telles les surfaces très au nord de Tell-Douch (desquamation superficielle, ruissellement sporadique et déflation éolienne).

[149] J. Dresch, *op. cit.*, 1982, pour la définition : cf. § 3. « L'action des eaux courantes », p. 78-103 et fig. 7 et 10.

[150] J. Dresch, *op. cit.*, 1982, § 4. « L'action du vent », p. 103-138, en particulier p. 112.

Il semble que la plaine de Douch fut d'abord un glacis, plaine en position d'embayment, dégageant, si caractéristique de cette forme, un vaste rentrant triangulaire bordé des reliefs qui lui servent d'impluvium. Le piémont construit qui s'étend à la base du front de la hamada montre à sa limite aval le recoupement des cônes-glacis (photo 24) et leur passage au substratum tendre de l'embayment, tranché lui-même par des glacis de dénudation à très faible pente. Au delà de la limite du piémont, ces derniers qui subissaient la dynamique des ruissellements portent encore des lambeaux de couverture alluviale (glacis couvert). Ils constituent désormais le plancher des accumulations sableuses récentes (photos 22, 49).

La plaine de Douch a dû jouer le rôle d'une playa dans laquelle l'écoulement des bassins-versants amont disparaissait progressivement [151], en particulier au pied de Tell-Douch nord. Elle correspondait à une surface d'aggradation à faible pente dans le prolongement ou à l'intérieur des lits d'oueds (photos 12, 49) qui ont été alimentés autant par les bassins de réception au front de la hamada que par les bouches artésiennes disposées le long du décrochement. Malgré une infiltration prépondérante, les eaux ont pu s'accumuler, préférentiellement en contrebas des collines, et par confinement augmenter la concentration en sels des fonds topographiques. Désormais, à ces fonds de cuvettes (sebkha) localisées au point géométrique de convergence des nappes détritiques et des flux d'écoulement, correspondent des croûtes gypseuses aujourd'hui mortes et perchées (photo 1).

De nos jours, la plaine peut être définie comme une surface de déflation éolienne. Ce secteur d'accumulation sous le vent de la hamada se présente peu à peu comme un lit éolien encombré de *barkhanes*.

De faciès graveleux à sableux, les nappes d'épandage d'origine hydrique de la playa sont remodelées par le vent. Elles s'étalent ayant l'aspect d'une couche peu épaisse (20-30 cm), parfois au voisinage d'obstacles, affectée de méga-rides éoliennes dissymétriques (ripple-marks de 30 cm) à matériel grossier (gravillons ocres). Elles peuvent prendre le faciès de nappes de sablage très minces (quelques centimètres) et très mobiles. Le faciès plus fin (du sablon au limon) constitue le matériel de ces écharpes de poussières de quartz qui se déplacent au cours de la journée à la surface de la plaine, des pentes et des barkhanes et autour des nebkas (photo 34) ou des yardangs (photo 19).

Les apports éoliens empêchent de délimiter l'étendue de la playa qui s'était développée en bordure des épandages des chenaux les plus récents. Cependant le traitement des images SPOT confirme l'existence de ces différents dépôts, l'un récent auquel les dunes actuelles s'alimentent, les autres hérités, dont il est difficile de retrouver le modelé spécifique, hors les grandes structures morphodynamiques en longues et larges traînées de sable parallèles sur lesquelles se déplacent les alignements des *barkhanes* (pl. I).

À ce remodelage de nappes détritiques, il faut associer les cuvettes de déflation. Ces dépressions de surcreusement localisent les secteurs les plus bas de la plaine. En contrebas d'un bon demi-mètre ou plus, elles provoquent le perchement des anciennes accumulations et des croûtes de gypse (photo 50). Ces cuvettes sont donc relativement récentes. Elles

[151] N. S. Embabi, *op. cit.*, 1972.

indiquent une aridification plus poussée du milieu au cours même de la période d'occupation des sites, semble-t-il.

Cet approfondissement local se montre indépendant de tout niveau de base. Il relève d'alternances climatiques et résulte de la morphogenèse éolienne à toute échelle et à tout moment des variations climatiques.

Pendant la période humide (pluvial à régime de précipitations semi-aride), les processus de ruissellement procèdent à la dégradation des bordures de la cuvette. Les débris constitutifs s'accumulent au centre de l'alvéole. Pendant la période sèche (aride hypersec), l'évacuation du matériel déposé et le creusement du substrat marquent la recrudescence de l'érosion éolienne. Les rafales de vent emportent les débris fins et vident la dépression, laissant sur place les éléments les plus gros. Les variations du niveau hydrique, qui affleure au pluvial et empêche la déflation, et qui s'enfonce à l'Aride et la permet, règlent le rythme de cette évolution [152]. Ce mécanisme a été proposé pour expliquer le dégagement de la dépression de Kharga [153]. Il semble qu'il fut l'un des mécanismes possibles parmi d'autres, car la boutonnière de Kharga doit son développement à un ensemble de processus dont certains produisent une érosion aréolaire par nappes de ruissellement.

En raison du compartimentage tectonique du relief, le mécanisme a pu être entretenu, hors de toute variation zonale du climat, par l'activité artésienne propre à ce secteur (effet d'hystéresis). Des cuvettes fermées de ce type se trouvent au pied de la butte d'Aïn Manawir au plus creux de l'ample dépression que les *barkhanes* traversent. Maintenant sèches, elles ont pu être humidifiées par des infiltrations discontinues et limitées, mais repérées à l'approche des zones de broyage par les imprégnations ferrugineuses apparentes qu'elles y ont laissées. L'alimentation en eau de la cuvette semble avoir été ainsi assurée par des nappes phréatiques à régime artésien. Comme le débit de ces écoulements dépend de l'ampleur et du volume du phénomène ou de l'étanchéité du toit des aquifères, l'écoulement reste fluctuant, comme le démontre le tarissement actuel. Cependant à l'époque des débordements des puits, il a pu contribuer à recharger les nappes perchées à l'arrière des barrages lithologiques (fig. 9 et 10).

Actuellement, ces dépressions et leurs semblables au voisinage des autres sites (Douch est, Aïn Manawir, Aïn Ziyada) sont en partie atténuées par un voile de sable en transit. Mais elles exposent parfois un fond dénudé, taillé dans le substratum tendre de la plaine, ne présentant aucun aménagement de parcelles agricoles à la différence de leurs propres berges (Douch nord, Aïn Manawir). On peut y voir l'indice d'un approfondissement historique (photo 51).

[152] R. Coque, *La Tunisie pré-saharienne*, Paris, 1962.

[153] P. Birot, J. Dresch, *La Méditerranée et le Moyen-Orient*, t. 2 *La Méditerranée orientale et le Proche-Orient*, Paris, 1956, et particulièrement p. 242 avec référence à l'inventeur de cette interprétation: F. Pfannenstiel, *Das Quatär des Levante* II: *Die Entstehung der Ägyptischen Oasensdepressionen*, 1953.

Le développement de ces cuvettes a provoqué le perchement (50 cm au plus) des couvertures d'épandage anciennes, des croûtes de gypse voisines et même des terroirs antiques, à Kysis (photo 51) et à Aïn Manawir. Par ces derniers, on peut estimer un taux d'ablation moyen d'un demi-millimètre/an, sur 1500 ans. En effet au sud d'Aïn Ziyada, les chenaux d'irrigation qui se déversaient dans les cuvettes désormais comblées de sable sont perchés à leur bordure d'un bon demi-mètre. Comme la déflation a précédé l'ensablement, le taux d'ablation s'élève en fait, ici, au-dessus de la valeur moyenne. Ces différences d'évolution s'expliquent à partir de la répartition des courants éoliens que commandent le relief et son pouvoir de subdiviser le vent en courants.

De la sorte, les conduites hydrauliques qui s'y dirigeaient se trouvent désormais surélevées à leurs bords. Certaines de ces conduites se dédoublent (Aïn Ziyada, Aïn Manawir). Tout se passe comme si, au cours de leur période d'utilisation, le niveau de base avait subi une modification suffisamment accusée pour entraîner le réajustement de l'installation. En contrebas du profil en long du système hydraulique d'irrigation, ces cuvettes indiquent *a contrario* un niveau d'eau plus haut que l'actuel ainsi qu'une modification de leur propre fond. Comme les conduites de céramique à leur aval se retrouvent perchées, il faut penser que leur creusement s'est poursuivi après l'abandon des sites. La salinisation des sols a dû faciliter l'ablation pelliculaire. L'abaissement du niveau des nappes a donc pu s'accentuer au cours même de la période historique.

2.14 LES CROÛTES

Actuellement, dans les oasis (Douch, Baris), à la surface des champs en friche, on observe le développement de petits cristaux blancs. Incrustantes, ces efflorescences salines accolées constituent un voile de fins prismes en aiguille. Plus organisées, elles élaborent un réseau en mailles dont le centre de chacune d'elles correspond à un monticule d'argile, piqueté de fragiles cristallisations. Les sols sont secs et asphyxiants.

À ces dépôts actuels s'ajoutent des croûtes qui scellent la surface de la plaine elle-même et dont la confection est très localement actuelle [154]. Mais certaines à Douch sont anciennes.

Brisées en plaques polygonales, ces croûtes sont recimentées à leur surface (photos 1, 50). De couleur grise à beige, épaisses de quelques centimètres, elles correspondent au niveau de battement des nappes phréatiques et à l'affleurement de l'eau d'une mare. Elles situent le fond d'une ancienne sebkha, désormais perché au dessus des cuvettes de déflation. En effet elles ne sont plus fonctionnelles, puisqu'ensablées. Inégalement détachées de leur support argileux, elles sont en voie de destruction par déchaussement, à leur pourtour nord, face aux vents dominants. Leur lustrage superficiel confirme qu'elles subissent désormais les effets de l'abrasion éolienne au point que leurs rugosités de surface sont émoussées par le polissage éolien (nord-ouest de Tell-Douch).

[154] Oasis de Kharga et périphérie est de l'oasis de Douch.

La formation des croûtes, semble-t-il, est en relation avec les nappes phréatiques que recoupe la surface de l'embayment. On sait, en effet, qu'à la faveur d'alternances de grès et d'argiles, le dispositif structural est favorable à la présence de petits niveaux aquifères, parfois très proches de la surface. Par artésianisme, les eaux imbibent les intercalations gréseuses en fonction de la densité de leurs fractures. L'émergence de la nappe résulte de sa mise au jour à la suite du surcreusement par le vent du fond de la cuvette. Dans la cuvette même, les montées d'eau peuvent atteindre et imprégner les couvertures détritiques de surface, en traversant le toit argileux, imparfaitement étanche car très intensément fissuré.

Le dynamisme ascendant moindre du plan statique de la nappe explique la faiblesse de l'ennoyage actuel. En témoignent la présence d'*Alghi maurorum* et la faible humectation des sables, constatée en profondeur à la suite de la fouille des *qanawat*. L'horizon de capillarité des réserves se trouve à – 7/– 8 m de profondeur pour les plus superficielles, nettement en état de sous-alimentation par rapport à la période de formation des croûtes. L'absence de niveaux de gypse dans le sol suggère que les nappes aquifères se trouvent encore plus bas, à une profondeur qui échappe à l'intense évapotranspiration (5 m), et qui atteste la réelle dessiccation du substrat en surface. Cependant pour expliquer ces croûtes, on ne peut exclure l'influence d'une imbibition hydrique superficielle plus régulière (effet des condensations nocturnes ?). Actuellement, l'invasion des *barkhanes* et du sable souligne pour le sol une indigence en eau très prononcée.

Toutefois, certaines de ces croûtes sont historiques et liées à l'irrigation. Elles sont légèrement en contrebas des précédentes et moulées sur la pente de raccord qui conduit au fond des cuvettes de déflation (Tell-Douch ouest). En effet, hors le cas erratique d'un encroûtement pris dans la construction d'un four de potier (Tell-Douch), mis au jour par les fouilles, et dont la présence s'explique par ces conditions très factuelles, les croûtes les plus récentes incrustent les installations hydrauliques qui apportaient l'eau aux parcellaires (Kysis et Douch sud), et recouvrent la surface les champs des terroirs et les levées qui les séparent (Douch est [photo 52] et Douch sud). L'encroûtement est lié au fonctionnement des réseaux hydrauliques et à l'absence de tout drainage, à l'intérieur du périmètre inondé. À l'aval du parcellaire, la réapparition d'une eau d'infiltration a été à l'origine de cette croûte élaborée *per ascensum*. Un tel dépôt prouve la réalité d'une évapotranspiration forte, pendant la période d'occupation du site.

Toutes ces constatations convergent pour expliquer, à toutes les échelles du temps, la richesse en eau des roches-magasin assurée par la crue des nappes artésiennes. Les mécanismes hydrogéologiques se montrent capables de transformer en sebkhas certains secteurs de la plaine de Douch. Les nappes superficielles les plus dynamiques, durablement alimentées par les montées artésiennes chargées en sels, déterminent par évaporation l'emplacement des croûtes gypseuses. Mais, en période de tarissement par épuisement des réserves hydrogéologiques, seuls les écoulements discontinus et limités de surface, dont l'origine pluviale rend de surcroît négligeable leur effet morphologique à l'échelle de la plaine, ainsi que les apports des condensations nocturnes assurent aux nappes un médiocre rechargement. Cependant, à certaines périodes d'occupation du site, ces dernières se montrent capables de fournir au réseau d'irrigation en raison de son linéaire le débit élevé et régulier qu'il réclame (Douch, Aïn Ziyada, Aïn Manawir, Aïn Boreq).

La décrue des nappes est à mettre en relation avec des fluctuations climatiques courtes de quelques siècles, qui oscillent entre l'aride très sec et le subaride. Les effets de la sécheresse de l'air peuvent être en partie atténués par la présence d'une saison plus humide par transgression estivale de la mousson (pluies d'été) et/ou par l'invasion de types de temps plus frais d'hiver (condensations nocturnes). Dans ce cas, l'assèchement d'ordre thermique ne s'associe pas à la sécheresse hygrométrique, comme dans le cas du climat hyperaride. Il en résulte que les états alternés du sec à l'humide ne se calquent pas mécaniquement sur le rythme que définit l'histoire morphoclimatique du Quaternaire et de l'Holocène. Encore moins lorsque les crues artésiennes permettent d'atténuer la sécheresse du milieu (effet d'hystérésis).

Ces types de fluctuations peuvent expliquer le développement récurrent des croûtes de gypse. Parmi ces dernières, les unes sont par le climat liées au régime hydrique des réservoirs ; les autres résultent de la mise en valeur du milieu et sont la conséquence de l'évaporation des nappes d'eau entretenues par le développement des terroirs irrigués. Si toutes expliquent la présence des croûtes de gypse, elles n'ont pas la même signification pour l'histoire paléoclimatique du milieu.

La tendance longue de la péjoration climatique rend compte des processus qui expliquent le relief des buttes profilées.

2.15 LES BUTTES PROFILÉES

Si on groupe en deux familles génétiquement opposées les dépôts qui masquent le substrat, d'un côté ceux du vent, de l'autre ceux de l'écoulement hydrique, il en est une troisième de type mixte. Cette formation sédimentaire s'oppose aux autres par sa couleur généralement gris-olive et s'en distingue par les buttes profilées qui y sont taillées (Dikura, photo 53, Aïn Ziyada, photos I9, 54), et par les grandes surfaces planes que les *barkhanes* envahissent (Aïn Manawir, Umm al-Dabadib).

Ces dépôts de limon contribuent à définir en effet un des modelés de la région de Douch. Ils caractérisent le paysage des *tells* (Douch, Aïn Ziyada, Aïn Manawir et Dikura), comme, à un titre moindre, celui du replat de la hamada et de son piémont. À Aïn Boreq, leur accumulation fossilise le bas de la crête où sont creusés les *qanawat*.

Très dispersés, plaqués sur des reliefs ou situés à la périphérie de dépôts de playa [155], ils présentent un relief de buttes réalisé aux dépens d'un matériel vanné, parfois, semble-t-il, préalablement décanté dans des nappes d'eau peu profondes, puis disséqué, remanié par ruissellement et à nouveau remodelé par l'érosion éolienne. Les buttes profilées qui en résultent n'ont cependant pas toutes la même origine, malgré leur similitude apparente de forme.

Par sa composition sédimentologique, ce matériel relève aussi bien du ruissellement que de la déflation. Son faciès ne définit donc pas une période aux processus univoques, comme on peut le déterminer pour les cônes d'épandage ou les *barkhanes*. Pour

[155] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 288.

l'archéologie, son intérêt est primordial, puisqu'il est la terre arable des parcellaires et que dans son épaisseur ont été trouvés des vestiges datés de l'Ancien Empire. Aussi est-il nécessaire de décrire plus longuement ce secteur somme toute restreint du paysage naturel (quelques km^2). Mais par l'utilisation qu'il en fit, l'homme lui a conféré la signification d'un faciès géo-historique.

2.15.1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE BUTTES PROFILÉES

Les *ridges* des textes qui décrivent le paysage des oasis les désignent. Leurs formes et leurs faciès permettent de préciser les conditions de dépôt pour le matériel dont elles sont composées, et les étapes du modelé dont elles sont l'expression (fig. 20).

Ces échines de sédiments tendres, fins et d'origine détritique ont une couleur tirant sur le gris-olive et le gris-beige, pour le secteur de Douch et celui de Kharga, sur le brun-roux, pour celui de Baris ou de Umm al-Dabadib. Dans l'un et l'autre cas, cette différence de couleur s'explique par la lithologie locale. Elle démontre qu'une partie de ces dépôts est nourrie par le substrat qui sous-tend les glacis, les schistes de Quseir gris à bruns, sensibles à la déflation éolienne à découvert. Il faut en faire le matériel livré par les cuvettes hydroéoliennes. Rares sont en effet les buttes qui ont été directement façonnées dans le substrat, comme on peut l'observer à proximité de la nécropole d'Aïn Ziyada ou à Baris.

Les dimensions de ces monticules sont variables (photo 53). Leur relief peut être bas (moins d'un mètre) ou haut (5 m et plus) ; trapu (1 m) ou allongé (jusqu'à 10 m et plus) ; large (5 m et plus) ou étroit (1 m). Les flancs sont obliques (autour de 50°) ou abrupts, réguliers ou accidentés de surplombs d'éboulement, et leur base est encombrée de paquets écroulés (photo 54).

Leur silhouette semble identique en première approximation. Dissymétrique en coupe, leur profil présente en plan une forme en fuseau. L'extrémité haute, large et carénée désigne l'amont face au vent, elle est pour toute la dépression de Kharga toujours tournée vers le nord ; l'extrémité étroite, effilée et basse représente la terminaison aval, sous le vent. Cette forme oblongue, due à la corrasion éolienne les assimile à des yardangs [156] (photos 15, 55). Enfin, les couloirs de déflation (photo 53) qui les séparent dénudés ou partiellement atténués par un sable en transit, sont de largeur variable. Irrégulièrement calibrés composant un réseau anastomosé, ils contribuent cependant à l'alignement des buttes en colonnes (Aïn Ziyada et Dikura, photo 53).

Disposés dans le lit du vent selon l'axe de son écoulement, ces dos de terrain sont rarement isolés, comme sur le replat de Naqb Douch ; au contraire, le plus souvent groupés, ils composent le modelé ordonné de secteurs topographiquement différenciés. Ainsi constituent-ils l'enveloppe ruiniforme des collines (Aïn Ziyada [photo 19], Dikura), un relief bosselé à leur piémont (Tell-Douch nord, Aïn Ziyada), ou le fond accidenté de dépression (Aïn Ziyada [photo 8], Aïn Boreq, Baris). On distingue ainsi les rides des reliefs

[156] J. Dresch, *op. cit.*, 1982, p. 111 et p. 113, fig 16.

et celles de leur piémont et dépression. Profilées par le vent, les premières ne peuvent dériver que d'interfluves de ravinement. Une évolution de ce type, à son tout début, s'observe à l'extrémité ouest de Tell-Douch (photo 1). Cette dissection précédant l'attaque par le vent se développe aux dépens d'un placage éolien sablo-limoneux dont on peut observer le contact direct avec les grès ou les marnes feuilletées du substrat, au sommet de la butte d'Aïn Ziyada (photos 15, 19) et du seuil de Dikura ou au front du *tell* de Douch, à son extrémité ouest. L'enchaînement des processus à l'origine de ces formes, proche de celui défini pour l'évolution des dunes fossiles [157], révèle une aridification progressive du milieu. En revanche, les secondes dériveraient de l'exploitation par le vent des fentes de dessiccation qui affectent un dépôt de playa (photo 31) [158].

Les critères qui permettent de les différencier sont d'ordre génétique, morphogénique ou sédimentologique. En fait, les caractéristiques sédimentologiques mieux que le modelage plus uniforme des buttes conduisent à distinguer pour le monticule qui les définit, plusieurs origines. Ces dernières indiquent que le relief ne dépend pas du seul travail éolien aménageant un modelé de ravins inscrits à l'intérieur d'un dépôt homogène. Au delà de leur apparente similitude morphologique, plusieurs types originels de profil de buttes se différencient de celui typique du yardang qui, lui, est acquis par évolution. Une telle distinction permet de mieux évaluer l'ampleur de la corrasion éolienne. En conséquence, si les origines du profil de la butte sont diverses, les tertres se révèlent donc chronologiquement dissociés.

2.15.2 LES CRITÈRES D'ORDRE GÉNÉTIQUE

Si les buttes doivent leur profilage à la corrasion éolienne, l'individualisation de leur relief n'est pas toujours due au même agent morphogénique, comme l'est le ruissellement concentré générateur de ravinement pour les yardangs de revers.

En effet une butte dont le profil et la géométrie ne correspondent pas strictement à ceux du yardang doit être considérée comme une échine dont l'individualisation n'est pas entièrement due à l'activité conjuguée du ruissellement et du vent, en particulier à Tell-Douch, à Aïn Ziyada, à Dikura et à Aïn Manawir ouest (fig. 21). Le relief de certaines semble en effet résulter d'un réaménagement humain, avant d'avoir été façonné par la déflation éolienne et d'acquérir la forme oblongue et l'émoussé typique de la butte d'éolisation qu'est le yardang.

Sur le piémont nord de Tell-Douch (photo 2), c'est le cas des buttes à dissymétrie axiale qui oppose à un flanc abrupt interne, un flanc émoussé externe. C'est le cas également des buttes jumelles à dissymétrie axiale inversée, comme à Aïn Ziyada. Souvent dans le couloir qui les sépare, se retrouvent les regards d'un *qanat* (photo 54). C'est le cas des sillons emboîtés dans les passages qui séparent le pied du *tell* et les buttes du piémont. Des biseaux affûtés de déflation se développent en effet à l'intérieur de couloirs volontairement élargis ou approfondis, barrés de murs transverses, et au plancher atténué par du matériel

[157] P. Rognon, G. Coudé-Gaussen, « Dépôts quaternaires des déserts chauds et de la zone intertropicale », *Géologie de la Préhistoire*, Paris, 1987, p. 125-148.

[158] N.S. Embabi, *op. cit*, 1972.

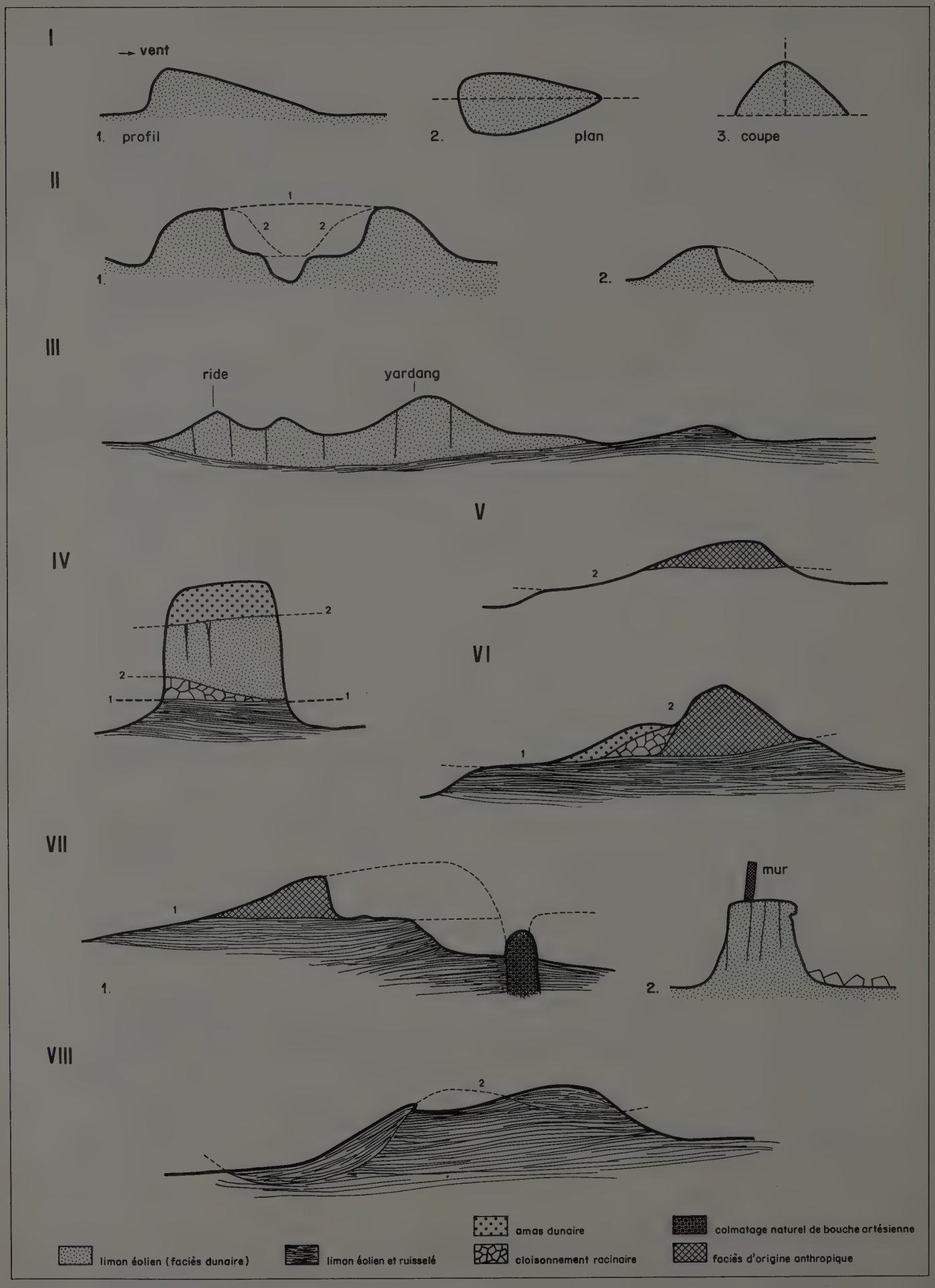


FIG. 20. *Les buttes profilées et leurs différents types.*

FIG. 20. *Les buttes profilées et leurs différents types.*

I. LA BUTTE PROFILÉE (TYPE YARDANG) EN FORME DE FUSEAU PAR PROFILAGE ÉOLIEN (AÏN ZIYADA).
1. En coupe longitudinale, profil dissymétrique.
2. En plan, forme en fuseau à l'amont convexe, à l'aval effilé.
3. En coupe transversale, symétrie de la forme dérivée d'un interfluve de ravine.

II. BUTTE PROFILÉE À DISSYMÉTRIE AXIALE (TELL-DOUCH).
1. Butte profilée à dissymétrie axiale inversée à partir d'une butte simple ou jumelle. L'excavation centrale est d'origine humaine. Exagération de la hauteur par emboîtement d'un couloir de déflation ultérieur (siffle-vent).
2. Butte profilée à dissymétrie axiale, versant émoussé opposé à un versant abrupt: front de taille d'origine humaine, parfois soutenu par un mur (restes effondrés dans le couloir de déflation).

III. BUTTE À FACIÈS HOMOGÈNE (AÏN ZIYADA).
Échine étroite liée à un profilage éolien (yardang) ou crête de nebka basse conservée.

IV. BUTTE À PROFIL HÉTÉROGÈNE (AÏN ZIYADA).
Partie sommitale: voile de sable à stratifications entrecroisées (faciès dunaire).
Surface de discordance (encoche de déflation éolienne)
Partie inférieure.
1. Faciès supérieur, accumulation sableuse à grandes fissures verticales.
2. Faciès médian de type cloisonnement racinaire (macro-restes de végétation et accumulation sableuse (nebkas fossiles).
3. Faciès inférieur finement lité avec coquillages remaniés (tri pluvial, lit de décantation et voile sableux).

V. BUTTE À FACIÈS COMPLEXES ET PROFIL HOMOGÈNE (TELL-DOUCH).
La partie sommitale est un dépôt détritique d'origine anthropique (accumulation sous forme de mottes). Profilage éolien acquis ultérieurement (façonnage historique).

VI. BUTTE À PROFIL HÉTÉROGÈNE ET À FACIÈS MULTIPLES (DIKURA).
Profil de cône d'éruption hydrodynamique. Le système supérieur associe un cône d'éjecta d'origine artésienne recouvrant un niveau cloisonné (nebka fossile) et un amas dunaire. Ces faciès reposent sur le système sédimentaire inférieur à faciès compact et lité.

VII. BUTTE À PROFIL RUINIFORME. (AÏN ZIYADA).
1. Butte composée d'un talus, reste d'un cône d'éjecta démantelé. En contrebas, dyke de fissure (mur induré) dégagé par l'érosion éolienne.
2. Butte au profil d'évolution. Verticalité des faces dérivant des fissures, éboulement et surplomb. Processus actuel comme le prouvent les ruines perchées.

VIII. BUTTES À « CHEVRONS » (AÏN ZIYADA).
Faciès dunaire du système supérieur ravinant le faciès inférieur lité.

détritique qui contient des tessons et où se sont imprimées des traces de pas (fig. 31). La forme de yardang parait donc pour certaines buttes profilées acquise depuis peu. On conclut également qu'une fois profilée, la forme acquise évolue peu. Elle ne peut pas être un indicateur chronologique utile à définir la durée d'une évolution morphogénique.

Ces types appartiennent cependant à une période récente de l'histoire des buttes. Ils permettent de différencier plusieurs épisodes de déflation. Le début du profilage est bien daté si le matériel contient des tessons ou s'il fossilise des murs, comme à Kysis. De ce fait, cette situation conduit à envisager l'existence de périodes d'abandon des sites qui pourraient correspondre à des épisodes historiques d'aridification du milieu. La similitude actuelle des profils, pour certains acquis depuis peu, masque donc une évolution étalée dans le temps. Elle souligne la persistance de l'action morphogénique du vent dont l'action généralisée actuelle rend compte [159].

Dans ces conditions, puisque des murs et des tessons y sont enfouis ou fossilisés par un matériel identique à celui des buttes, l'histoire de ces tertres ne se réduit pas à celle du milieu, mais participe à celle même du site. L'individualisation de certaines buttes est ainsi historique. Leur apparition comme l'accumulation de leur sédiment ne sont donc pas circonscrites à une période particulière de l'Holocène, antérieure à l'occupation des *tells*. Le relief des buttes n'est pas de primogéniture ou monogénique, puisqu'au yardang vrai s'oppose un homologue d'origine anthropique, au profil éolien acquis plus tardivement. On constate également une diversité aussi grande d'ordre dynamique ou évolutif.

2.15.3 LES CRITÈRES D'ORDRE MORPHOGÉNIQUE

Aux buttes en forme de fuseau par profilage éolien (photos 15, 19, 53, 56), il faut opposer celles à profil ruiniforme (photo 57). Elles caractérisent un grand nombre de tertres des secteurs d'Aïn Ziyada et de Dikura. Leur sommet plat ou en dôme est délimité par des flancs abrupts à cannelures et encoches. À leur pied, des blocs éboulés jonchent les couloirs de déflation. La vitesse à laquelle se font les éboulements se montre plus rapide que la vitesse de la corrasion éolienne. On peut l'estimer à plusieurs mètres par millénaire. À Aïn Ziyada sud, le vestige d'un mur d'habitation subsistant seul au sommet d'une crête étroite le démontre. La multiplication et le maintien des surplombs l'indiquent également. La butte originelle doit son nouveau profil à cette destruction progressive. L'écroulement des parois est à mettre au compte d'une dessiccation plus poussée du milieu, après une période de plus grande humidité édaphique. En effet

[159] Dans ces conditions, une étude s'appuyant sur une cartographie à la grande échelle du plan de la fouille se montrerait d'autant plus nécessaire à réaliser que le matériel des yardangs définit le substrat des terroirs. Ainsi peut-on se demander si, pour ces terroirs, leur aplanissement dérive de la seule action volontaire des habitants de Kysis, allant jusqu'à faire disparaître les yardangs pour les installer, ou s'il ne fut pas de leur part une simple retouche parachevant l'horizontalité d'un reg de déflation, ou celle de la surface d'une playa ? Leur polygonisation dépend des changements de volume provoqués par la dessiccation du matériel, comme le décrivent R.U. Cooke, A. Warren, *Geomorphology in Deserts*, Londres, 1973-1975, plus particulièrement p. 129-149, fig. 2.23 et 2.24.

ce recul se réalise par l'action de l'hydroclastie et de l'haloclastie [160]. Il affecte surtout le faciès à grandes fentes polygonales de dessiccation (photo 56). Ce type à l'emplacement erratique s'est développé en fait aux dépens de zones très humides proches des bouches artésiennes. La désagrégation affecte également leur support de marnes feuilletées ou les fines couches argileuses du faciès lité qui définissent certains yardangs. La localisation de ces buttes à parois verticales permet de situer les anciennes sorties artésiennes, lieux possibles d'occupation humaine depuis l'Acheuléen jusqu'au Néolithique et l'Ancien Empire, dans la dépression de Kharga [161].

Ce type indique que le relief de la butte n'est pas le résultat de la seule corrasion éolienne, puisqu'il la précède et qu'il évolue en fonction d'une morphogenèse capable de se substituer à un ancien modelé de corrasion. On pourrait parler d'un pseudo-yardang, le profilage de la forme n'étant qu'un aménagement momentané par le vent. Il montre également que la butte profilée peut évoluer à partir d'autres processus. Son carénage, fonction de l'aridité, semble ainsi provisoire. Un troisième type de butte peut être différencié à partir des caractéristiques des sédiments et de leur organisation stratigraphique.

2.15.4 LES CRITÈRES D'ORDRE SÉDIMENTOLOGIQUE

On peut opposer les buttes à faciès homogènes (photo 55) aux buttes à faciès hétérogènes ou polygéniques (photos 56, 57). Leur profil reflète cette double caractéristique. Il montre que la corrasion éolienne dégage d'anciens modelés à buttes, qui enrichissent ainsi la famille des pseudo-yardangs [162].

Les unes sont basses, à la forme proche du dôme court ou elliptique. Leur hauteur peut être localement exagérée par la déflation éolienne récente dont on peut mesurer exceptionnellement l'ampleur au voisinage d'hydragogues perchés (Aïn Ziyada, Douch, Aïn Manawir). Elles présentent un faciès sablo-limoneux finement lité ou compact, recoupé ou non par des fentes de dessiccation qui dessinent en plan de vastes polygones [163] (photo 31). Ce faciès s'observe en fait dans tous les sites. Il s'agit d'un placage de sable à rides ou nebkas basses pour lesquelles il ne subsiste que les flèches aval indurées.

Les secondes, sont plus massives et plus hautes. Leur relief en forme de tertre irrégulier s'organise en fonction d'un faciès hétérogène. Des encoches horizontales y différencient la superposition des dépôts, dont le dernier à leur sommet peut être d'origine anthropique (photo 57).

Le système inférieur s'y singularise topographiquement en constituant une plate-forme basse, parfois à peine dégagée, et sur laquelle reposent les séries du système supérieur. Ce dernier s'en distingue à partir de différentes formes, par celle d'un monticule dissymétrique

[160] Cf. la croissance des cristaux halins observée dans les fissures des buttes à Aïn Ziyada.

[161] G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, *op. cit.*, 1932 ; F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1982, p. 181- 203.

[162] La confirmation de ce type s'observe en Syrtique (Libye). Des dunes phytogéniques en cours de destruction sont profilées par le vent alors que le couvert végétal est encore présent (observation de l'auteur, mars 1993).

[163] Cf. les surfaces bosselées à polygones de Dikura ou de Tell-Douch est.

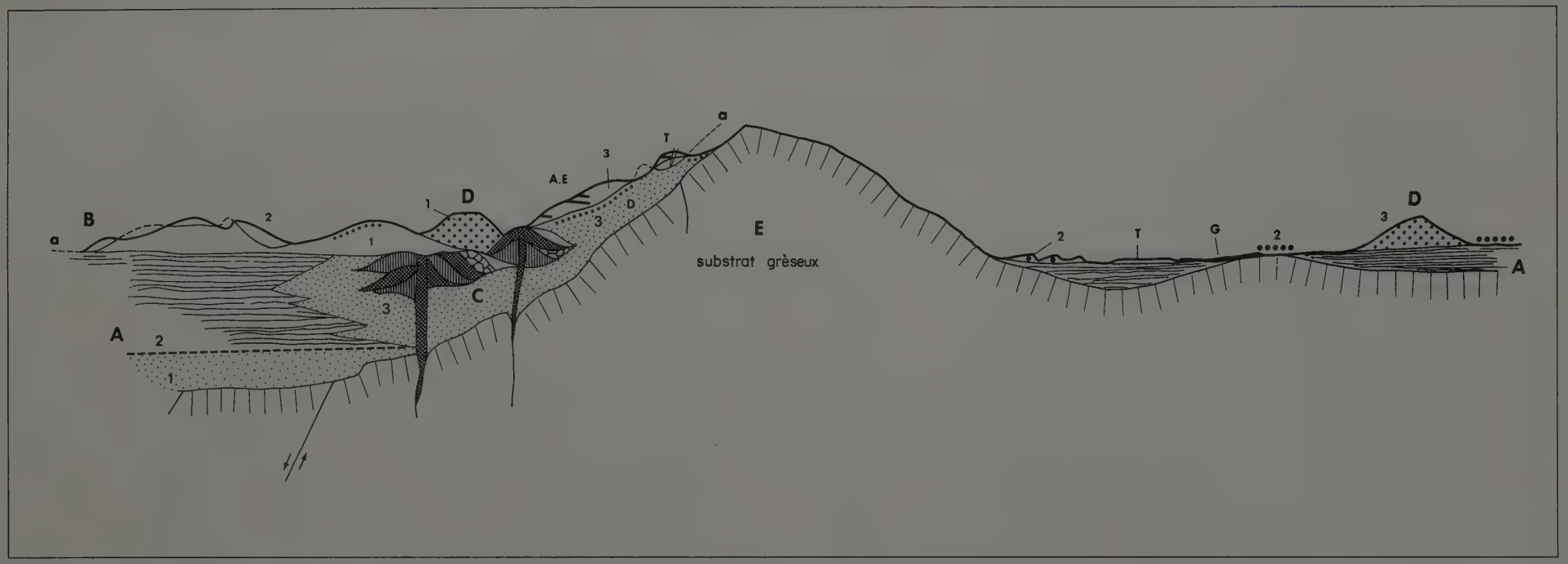


FIG. 21. *Les différentes familles de faciès des limons gris à Tell-Douch.*

Le système complexe des formations superficielles repose sur les grès de Taref.

A. Le système sédimentaire inférieur.
1. Faciès de base, limon compact sans figures visibles.
2. Faciès finement lité de décantation, en passage latéral avec
3. Faciès compact de dépôt de limon sur pente.

B. Le système sédimentaire supérieur.
1. Amas dunaire sous la forme d'un voile discontinu à l'épaisseur irrégulière.
2. Dunes de remaniement ultérieur. a = surface de discordance principale entre les deux systèmes. Son exhumation définit les plates-formes de piémont.
3. Dunes ascendantes avec sites de l'Ancien Empire.
T: tuf de bassin de source (encroûtement de pente ou de cuvette, parfois avec traces de calcination (scories de pente ou de piémont).
C: encroûtement de gypse.
D: les faciès évolutifs: horizons pédologiques (pseudo-gley).

C. Les faciès erratiques des puits artésiens (cheminée). Ils recoupent les systèmes.
1. Ejecta.
2. Faciès cloisonné à racines.
3. Nebka fossile.
4. Dune d'accumulation.

D. Formations actuelles.
1. Nebka à tamarix.
2. Rides de vent.
3. *Barkhane.*

E. Grès de Taref.

ou d'un cône régulier ou égueulé, par celle d'un talus ruiniforme ou d'un chevron. Les exemples sont nombreux à Aïn Ziyada (photo 54) et Dikura.

Différentes familles de faciès selon leur fréquence et l'échelle de temps de leur récurrence composent le système supérieur. Leurs contacts francs révèlent des dynamiques aux énergies différentes. La variété des profils s'ajuste sur la multiplicité des faciès.

2.15.5 LES FACIÈS

Les diverses séries sédimentologiques traduisent en effet une multiplicité de processus d'origines diverses, biogénique, éolienne ou hydrique. En fonction de ces origines, certaines peuvent être qualifiées d'erratiques ou de vagabondes à côté de celles dites fondamentales, ou juxtaposées (sous-type), ou évolutives (subséquentes). Il en résulte des significations morphodynamiques et chronologiques différentes. Ce matériel permet ainsi d'établir pour l'évolution la plus récente, une périodisation plus fine de son temps.

La famille aux faciès fondamentaux définit la catégorie la plus représentée des buttes profilées. Elle explique les deux systèmes dont la surface de discordance exhumée commande l'étendue des plates-formes, telles celles présentes au pied de Tell-Douch, au nord-ouest (photo 1).

Le groupe aux faciès erratiques est local et sa distribution en apparence illogique. Ces faciès casuels n'en ont pas pour autant une signification moindre. Ils sont liés à des puits d'éruption artésienne et renseignent sur le degré d'aridification du milieu, comme sur la profondeur de la nappe souterraine.

La famille aux faciès évolutifs renseigne sur la transformation édaphique ou pédoclimatique des dépôts. Ces faciès ont la signification d'horizons pédologiques. Mais certains sont des niveaux d'origine anthropique en raison de leur position stratigraphique à l'intérieur du dépôt. Ils doivent être considérés comme les témoins qui se rapportent à l'occupation la plus ancienne du site, puisqu'ils se montrent contemporains de la sédimentation et de la morphogenèse des accumulations qui les contiennent. Leur signification chronologique n'est donc pas identique, puisque la durée de leur constitution n'est pas la même.

LES FACIÈS FONDAMENTAUX Les faciès peuvent être répartis en deux systèmes. Leur superposition n'est pas immédiate dans le temps (fig. 21). Les faciès du système inférieur sont au nombre de deux. À l'intérieur du dépôt, leur position réciproque leur attribue une signification de passage latéral. Ils sont donc contemporains. Ces dépôts détritiques fins ont une fraction sableuse inférieure à 10 %. Argilo-limoneux, ils fossilisent sans terme de passage le substratum géologique. À Tell-Douch, Aïn Ziyda, Aïn Manawir, Aïn Boreq et Dikura, ils débordent l'abrupt tectonique et recouvrent son revers.

À l'amont du passage latéral, le faciès est compact, sans figures de sédimentation. Dépôt enveloppant un relief (photo 19), il faut le considérer comme le matériel d'un placage éolien de versant. À l'aval, le faciès (photo 57) est finement stratifié, à lits d'argile très peu épais (moins d'un demi-centimètre), finement structurés en mottes (émersion et dessiccation),

et constitués parfois de sable et de limons associés, disposés en une très fine stratification entrecroisée aux lits concordants, ou ravinant légèrement les précédents, ou recoupés en biseau par les lits sus-jacents. Il faut comprendre ce faciès comme un dépôt, en partie ruisselé, ayant la signification d'une charge fine décantée dans des mares peu profondes ou celle de lamines d'un ruissellement pluvial (décapage par nappes de battance) ; et en partie éolien, dont une fraction est mise en place au cours de périodes plus sèches intercalées entre des épisodes plus humides (photo 15). On ne peut dire si la fine stratification a une signification saisonnière. On observe que ces séquences nombreuses à la base se raréfient au sommet alors que les lits de sable fin s'épaississent en fonction de phases sèches de plus en plus persistantes qui finissent par être exclusives.

L'épaisseur totale du dépôt reste inconnue. Le sondage pratiqué dans la fosse du *qanat* de Kysis nord (photo 13) permet de dire qu'il a au moins 7 à 8 mètres, à la base du *tell*. Sur les crêtes, le dépôt supérieur peut être réduit à quelques centimètres jusqu'à laisser affleurer le substratum (*qanat* de Dikura). L'épaisseur du faciès lité ne semble pas dépasser les 2 à 3 mètres, par référence au dépôt d'Aïn Ziyada sud.

On n'y observe nulle part interstratifiés des lits à coquilles du type *Melania tuberculata,* seulement des individus dispersés qui ne semblent pas en place, mais remaniés dans le faciès éolien sus-jacent. Certaines sont noires, brûlées ou enduites de manganèse. Leur présence indique l'existence de mares permanentes, peu profondes, puis comblées. Le paysage palustre dont ils sont les témoins, a été de brève durée [164].

Les datations opérées sur un certain nombre de coquilles récoltées à Douch les situent avant l'Holocène [165]. Elles indiquent qu'une partie des faciès des limons gris a été déposée à la fin du Tardiglaciaire. Mais incontestablement certains de ces coquillages sont plus récents puisqu'ils accompagnent le tracé des hydragogues. On peut penser que certaines enveloppes torsadées de ces fossiles semblent avoir été polluées par un recyclage du calcaire, comme il est reconnu ailleurs, dans la dépression de Kharga [166]. Dans ce cas, une partie de la faune pourrait être contemporaine de l'époque de l'occupation du site et être liée à l'irrigation.

Il faut aussi noter qu'au sommet du système inférieur se situent des foyers de plein vent datés de l'Ancien Empire. On les trouve à la hauteur des termes de passage vers le système supérieur si franchement éolien. La datation de leurs charbons de bois est conforme à celle déterminée par la céramique [167].

Enfin, l'analyse des pollens montre que la partie supérieure du sédiment a été mise en place par le vent à l'Holocène. L'origine éolienne se prouve par le mélange hétéroclite de ces vestiges. L'âge récent se démontre à partir de la cohabitation de trois cortèges polliniques. Les conditions de leur fossilisation et l'état différent de leur conservation le confirment également. Les pollens anciens sont peu nombreux et proviennent de sédiments

[164] Jamais en place, il faut donc considérer ces coquillages fossiles comme remaniés. Les gisements les plus fournis se situent en effet en surface, à proximité d'un cratère de puits (Aïn Ziyada) ou d'un trajet d'hydragogues (Douch). Leur dispersion résulte de l'hydrodynamique artésienne des puits ; leur essaimage suit le dispositif géométrique des digues des parcellaires et de leur équipement hydraulique.

[165] L'âge donné est 15500 +/– 320 ans (^{14}C échantillon Gif-8281).

[166] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.,* 1982.

[167] L'âge donné est 3880 +/– 40 ans BP (^{14}C échantillon Gif-8282).

antérieurs au Quaternaire. Synsédimentaire, le second cortège plus fourni est typique de la végétation holocène d'Égypte. Enfin le groupe des pollens qui doit être considéré comme un apport historique, contemporain de l'implantation des sites, trahit la présence d'une agriculture d'oasis et le déploiement de parcellaires [168].

Le faciès du système supérieur représente un dépôt dont l'histoire est complexe. Homogène, la série correspond à un faciès de type dunaire. Son épaisseur variant, elle ne forme pas une couverture aussi régulière que le système inférieur. Elle est en outre perturbée par les faciès erratiques, eux-mêmes très présents dans l'autre système.

La série supérieure est représentée principalement par un faciès de type limono-sableux. Elle est composée de lits épais de 1 à 5 cm, disposés obliquement et pouvant recouper les lits sous-jacents. Les ravinements établis à une échelle plus petite traduisent des emboîtements entre deux familles de dunes ou de vannages éoliens. Dans le profil des buttes, l'emboîtement se signale par un alignement de chevrons triangulaires et par un recoupement net des assises inférieures (Aïn Ziyada [photo 55], Dikura et Douch). Tout se passe comme si une seconde accumulation s'était, en la détruisant partiellement, substituée à la première. Un certain nombre de sommets de buttes profilées illustre cette évolution.

Par déflation, leur matériel semble avoir été fourni en partie par le système inférieur lui-même. Un sédiment dû à un seul et même agent morphogénique, le vent, caractérise la plus grande part du matériel du système supérieur. Les conditions arides sont alors prédominantes, car les dépôts de ruissellement ou d'érosion pluviale présents dans le système inférieur sont absents de cet épisode de sédimentation.

La discordance entre les deux systèmes oblige à les dissocier dans le temps. À Tell-Douch, la présence confirmée de foyers de l'Ancien Empire, comme l'enfouissement de murs, fait du système supérieur un dépôt qui peut être historique et situe en ce temps un épisode d'aridification qui ne semble pas avoir d'équivalent à l'époque de l'occupation gréco-romaine de Kysis. Le système inférieur peut être, en revanche, très largement antérieur à l'Ancien Empire, et précéder même partiellement la période de l'Holocène, si on tient compte des faciès erratiques.

Les faciès erratiques

On peut les observer dans l'un et l'autre système, mais en nombre moindre dans le système supérieur. Leur individualisation est nette, car ils sont à l'origine d'une échelle de résistance qui influe sur le profil des buttes. Ces faciès erratiques peuvent être reconnus à partir de leurs caractères sédimentologiques et des traits liés à la dynamique de leur genèse. Ils présentent

[168] Le sédiment analysé a été recueilli au sommet du système inférieur à Aïn Manawir transformé en parcellaire. Les *pollens anciens*: Alnus (2,8 %), Betula (1,14 %), Carya 9,1 %), Carpinus-Ostrya (3,4 %), Corylus (1,7 %), Quercus (1,14 %). Les *pollens holocènes*: **Arbres-Arbustes:* Acacia (1,14 %), Ephedra (0,57 %), Pinus (4 %), Tamaris (1,7 %), Ziziphus (4,5 %). **Herbacées*: Acanthacées (0,57 %), Amaranthacées (6,2 %), Anthémidées (1,7 %), Apocynées (1,7 %), Artémisiées (2,8 %), Balsaminacées (0,57 %), Borraginées (1,7 %), Caryophyllées (1,14 %), Centaurées (1,14 %), Chenopodiacées (4,5 %), Convolvulacées (1,14 %), Crucifère (0,57 %), Graminées (15 %), Légumineuses (1,7 %), Œnothéracées (2,28 %), Ombellifères (4 %), Polygonacées (1,14 %), Saxifragées (0,57 %), Verbénascées (1,14 %), Thyméléacées (0,57 %); **Herbacées semi-aquatiques*: Cypéréacées (3,4 %), Typhacées (9,1 %).**Végétaux cultivés:* Céréales (2,1 %), Olivier (2,8 %).

la même signification puisqu'ils traduisent l'influence de courtes périodes morphogéniques à très fort dynamisme. L'énergie perturbatrice est soit d'origine hydrodynamique [169] (artésianisme), soit éolienne, soit anthropique. Elle peut être différente de celle du moment au cours duquel elle exerce sa propre action. Les faciès erratiques n'ont pas toujours une signification climatique directe. Il faut les comprendre parfois comme des faciès accidentels. On peut en définir quatre types.

– *Les faciès phytogéniques* sont de deux sortes. Ils définissent l'existence d'un couvert végétal dont la densité aurait une signification biogéographique zonale (photo 56), ou seulement locale indiquant dans ce cas la présence d'un point d'eau. Chaque fois ils sont liés au rôle d'obstacle que constitue le végétal. L'un caractérise le faciès fondamental du système inférieur. Il se prouve à partir des restes de végétaux dispersés dans le sédiment. Il s'explique par la présence d'une couverture discontinue de graminées ou de buissons, comme le montre l'analyse des pollens. Seules des anciennes nebkas qui ont pu s'y former et qui n'ont pas été recouvertes par le système supérieur plus lacunaire ont été conservées les flèches de sable basses et oblongues, disposées à l'abri de la plante (Dikura). Cette couverture végétale ouverte, formée principalement de tamarix, de jujubiers, d'acacias et d'herbacées dont des semi-aquatiques, est contemporaine de la sédimentation éolienne finale. Elle identifie la phase de passage d'un épisode humide à un épisode plus sec.

L'autre traduit au contraire un piégeage de sable et de limon en transit par des plantes volumineuses, mais très dispersées. Il a l'aspect d'un faciès cloisonné, à bourrelets indurés, moules de racines ou de branches, caractéristiques d'une végétation arbustive, à fourrés de tamarix, semblables aux buttes phytogéniques d'aujourd'hui, présentes à Douch et Dikura ; ou d'un groupement de roseaux (phragmites), en position de vie à proximité d'un puits ou à l'intérieur même de son cratère (Dikura, Aïn Boreq), comme on l'observe de nos jours dans ceux des puits inutilisés de l'oasis de Douch. Ce faciès discontinu se découvre sous l'aspect d'un amas singulier, disposé parfois en bourrelet concave, enfoui sous le sable. Il faut y voir des nebkas ou des bourrelets d'accumulation à la rive d'un point d'eau.

Ce dispositif se retrouve dans les deux systèmes, comme le confirment les buttes du piémont sud d'Aïn Ziyada pour le système inférieur, et encore plus fréquemment pour le système supérieur, comme l'illustrent les monticules du front nord-ouest et de la retombée sud-ouest de Dikura. Là, en particulier, le tertre supporté par une plate-forme correspond à la butte phytogénique d'un puits artésien. De surcroît, la présence de tessons de l'Ancien Empire [170] situe à une période assez récente son activité historique.

– *Les faciès éoliens* sont de deux types. Ils caractérisent des états de surface, radiométriquement différenciés (photo 50). Les faciès actuels visent les accumulations provisoires, telles que dunes vives, nappes éoliennes à rides, nebkas et buttes à tamarix. Ils révèlent des épisodes d'aridification plus ou moins récents et plus ou moins intenses, car

[169] Cet aspect est plus particulièrement décrit en troisième partie, cf. § « Les sources artésiennes naturelles ».

[170] Détermination de Pascale Ballet.

toutes ces formes ne sont pas contemporaines et leur matériel peut être granulométriquement différent. Actuellement, on observe un remaniement continuel des particules les plus fines (voiles mobiles de sédiments fins et *barkhanes* actives ou buttes à tamarix en voie de destruction). Les rides de sable grossier semblent plus anciennes et de nos jours simplement entretenues par la dynamique actuelle. Elles sont historiques toutefois puisqu'elles recouvrent les substructions découvertes sur le piémont nord de Douch [171]. La granulométrie grossière de leur matériel suppose cependant des vents plus puissants que les actuels (épisode de désertification postérieur à l'abandon de Kysis).

Les faciès éoliens gris plus limoneux se différencient de ceux des systèmes inférieur et supérieur par leur occurrence discontinue. Ils doivent être compris comme des accumulations singulières dues à l'obstacle que leur opposent les faciès erratiques d'origine phréatique. Ils ont une signification de dépôts associés contemporains (passage latéral) ou postérieurs et sont donc, dans ce cas, chronologiquement dissociés du faciès phytogénique. L'impossibilité actuelle que cette formation puisse se poursuivre et s'épaissir est liée à l'arrivée du sable. Les nappes aréniques récentes masquent, en effet, les surfaces argilo-schisteuses à l'origine du matériel qui les constitue.

Homogène, à lits obliques, la morphologie de l'accumulation dérive d'un amas dunaire élémentaire (amas en bouclier ou dune d'obstacle à Tell-Douch est). Perché, cet amas est très postérieur à l'épisode de ravinement que nécessite l'individualisation des buttes profilées vraies. La jeunesse et la fraîcheur de leur modelé indiquent que leur accumulation comme leur ravinement sont historiques. Ce monticule explique le relief originel en butte des pseudo-yardangs.

– *Les faciès de liquéfaction* doivent leur singularité à une forte imbibition du matériel au point de lui avoir fait franchir le seuil de liquidité (loupe d'écoulement à Dikura est, photo 69). Ils présentent différents aspects qui relèvent de plusieurs origines. De la sorte, on distingue les formations homogènes et les mélanges (fig. 22).

Les premières affectent le matériel des buttes profilées. Elles constituent le couronnement individualisé de monticules, dégagé dans le système inférieur (butte du palier intermédiaire du piémont nord de Tell-Douch, à proximité du *qanat* à fosses), ou bien élaboré aux dépens des deux systèmes (buttes du secteur sud-est de Tell-Douch).

Ces dépôts comportent aussi des éléments issus des séries du substrat. Ils associent des blocs de grès réduits à l'état de menus débris à des mottes d'argilites bleues et lie de vin ayant acquis par liquéfaction la consistance d'une boue (faciès au pied du front d'Aïn Ziyada). Parfois, l'accumulation présente l'aspect d'une structure polyédrique, disposée de façon désordonnée qui se désagrège en blocs (amas du versant nord de Tell-Douch à son extrémité ouest). Ce faciès est dit faciès d'éjecta artésiens.

Les formations du second type s'ajoutent aux éjecta des faciès précédents. Elles s'y associent différemment, soit en se superposant à eux dans des bourrelets mal individualisés, soit en s'y amalgamant sous forme d'amas désordonnés et bigarrés (Dikura). La disposition

[171] Enclos mis au jour dans le secteur de la station topographique 23, au droit du temple en pierre et ensemble des cabanes autour du puits au nord-est de Tell-Douch.

respecte cependant le principe de la superposition stratigraphique inverse. Les faciès les plus profonds du substrat recouvrent en effet ceux des buttes profilées qui leur sont normalement sus-jacents (Ain Ziyada, Dikura). Avec eux, ils constituent un bourrelet d'accumulations plus ou moins continu. On y distingue deux dispositions. Les faciès de la structure sédimentaire composent la partie interne du bourrelet. L'antériorité revient aux éjecta du substrat qui ont fait obstacle au dépôt détritique plus limono-sableux appelé à composer une butte profilée (Dikura). Ou les deux familles de faciès sont mélangées, sans organisation apparente. Le dépôt désordonné est ruiniforme (Dikura).

Ces dispositions révèlent deux origines. Certains amas d'éjecta sont mis en place par des éruptions artésiennes naturelles, soit antérieures, soit postérieures au dépôt du matériel limono-sableux des buttes profilées. Le dispositif par juxtaposition illustre le premier cas ; celui par mélange chaotique, le second.

Certains tas d'éjecta sont en revanche d'origine anthropique. Ils résultent du curage des puits, ou du creusement des fosses et des galeries. Ils indiquent à quelle profondeur le substrat rocheux a été creusé. Ils renseignent par leur volume sur l'épaisseur des limons éoliens qui enveloppent les collines. Ou bien ils représentent des déblais de forage, quand ils revêtent l'aspect d'un bourrelet ruiniforme à mélange bigarré et chaotique, avec des blocs de grès assemblés, utilisés comme des contreforts ou un ouvrage de calage (Dikura sud-ouest). Le dispositif le plus complexe signale l'emplacement des puits naturels dont l'ouverture a été maintenue et entretenue par l'homme (Dikura sud-est et Aïn Ziyada, fig. 29).

La destruction partielle des bourrelets peut être due à une éruption artésienne ultérieure, à un réaménagement anthropique ou à la déflation éolienne. On peut estimer également que la plus ou moins grande complexité traduit une durée de fonctionnement plus ou moins longue. Le dispositif des levées limitrophes peut aussi dépendre d'une migration de la bouche phréatique elle-même (Dikura nord-ouest). Enfin des dykes étroits d'éjecta sont interprétés comme des bouchons de fissures, dégagés par la déflation éolienne [172].

Certains de ces faciès boueux sont donc interprétés comme des faciès d'origine anthropique, parce que faciès de curage ou de forage de puits. Ceux qui contiennent des tessons le sont d'évidence et peuvent être de surcroît datés.

– *Les faciès dits anthropogènes* sont en revanche différents. Détritiques, ils se présentent sous la forme de tertre à matériel désordonné ou organisé en lits. Dans ce cas, ils alternent des lits de limon et des lits de sable à la granulométrie grossière et hétérogène. Certains sont contemporains de l'occupation du site ; certains datent de son abandon et évoquent un effet de désertisation engendré par la déshérence des lieux (Aïn Ziyada nord). Ils contiennent des tessons, des morceaux de conduits et des fragments de briques. Ils ont un faciès d'éjecta (curage de rigoles, Douch) ou de déblais remaniés par le vent (amas du piémont est de Tell-Douch ou du piémont nord d'Aïn Ziyada). Les tessons disposés à plat ne peuvent pas être considérés comme des apports ultérieurs, enfouis par glissement à partir

[172] Cf. le dyke de marnes rouges à faciès boueux du secteur sud-ouest de Dikura ou le dôme d'ejecta du secteur nord-est de Dikura.

FIG. 22. *Les faciès boueux des puits artésiens.*

PREMIER CAS

Par superposition selon le principe de l'inversion lithologique.

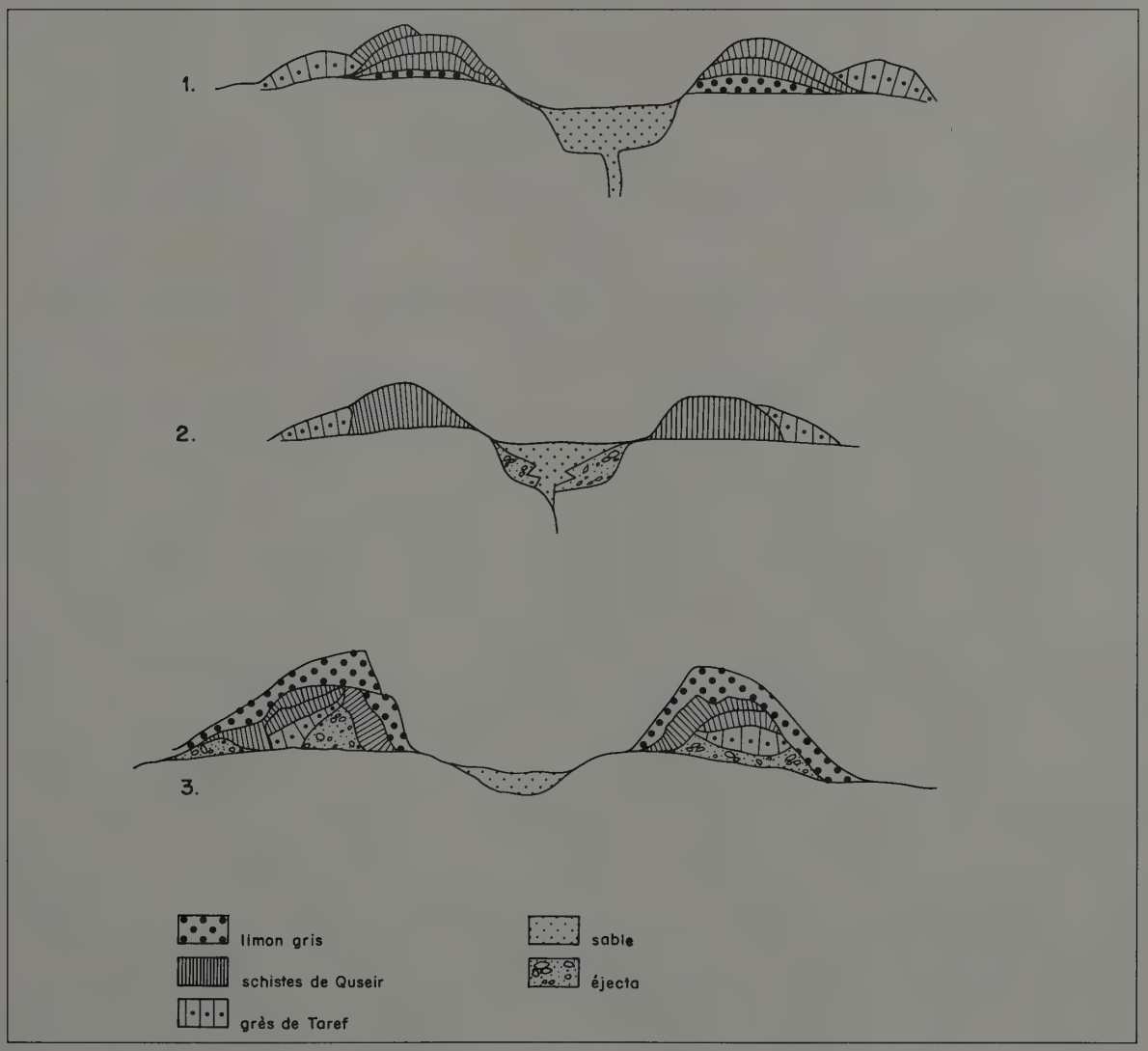
1. Faciès de base, limon. 2. Faciès médian : schistes de Quseir. 3. Faciès supérieur : grès de Taref.

DEUXIÈME CAS

Par juxtaposition. Les parois internes du bourrelet sont constituées de matériel du substrat (schistes de Quseir et grès de Taref). Formant obstacle, elles ont arrêté le sable en mouvement. Les éjecta précèdent les accumulations sableuses externes.

TROISIÈME CAS

Faciès « mélange ». L'origine est autant naturelle qu'anthropique. Les éjecta de l'éruption phréatique originelle ont été recouverts par des éjecta de forage ou de curage de puits par l'homme. Plusieurs nappes avec mur de soutènement se superposent en recouvrant des éjecta primitifs.



de fissures de dessiccation (photo 58), mais bien comme en place et fossilisés par un dépôt ultérieur, comme l'est la surface sur laquelle ils reposent.

Ces faciès peuvent s'accoler à des buttes profilées, atténuer leur base, ou constituer la butte, elle-même ultérieurement profilée par le vent (Douch). La présence de tessons dans ce type de monticule de faible hauteur démontre que le profilage par le vent est permanent depuis l'abandon du site. La récurrence de ces formes n'a donc pas de signification chronologique. La présence des tessons pourrait la leur fournir, si en outre leur sont associés les faciès de leur propre famille. Mais la banalité diachronique des tessons les plus récents n'apporte pas la précision qu'on était en droit d'attendre. Malgré ces vestiges incorporés au sédiment, on ne peut en effet estimer ni la durée des brèves phases d'abandon éventuel, ni celle des courts épisodes d'occupation moindre qui ont pu scander l'histoire des sites.

Les faciès d'évolution

Cette autre famille regroupe deux types de témoins, d'une part les horizons pédologiques d'accumulation à concrétions ou à encroûtements, et d'autre part les couches d'incendie. Ces faciès d'évolution s'observent aussi bien dans le système inférieur que supérieur, et à la surface de chacun d'eux. Si certains de ces faciès sont épars, certains par leur répétition démontrent que la superposition des deux systèmes sédimentaires s'est réalisée en plusieurs phases. Ainsi renvoient-ils à plusieurs épisodes morphoclimatiques, différenciés par leur dynamique et leur chronologie.

Les horizons pédologiques révèlent la constitution de sols, désormais tronqués ou enterrés, du type hydromorphe dans l'un et l'autre système, et du type halomorphe à concrétions spécifique du système supérieur, à son sommet.

Les horizons illuviaux hydromorphes représentent une phase de pédogenèse. Mais de ces sols, il ne reste plus que la zone « g » significative d'une stagnation temporaire de l'eau, d'aspect bariolé (marmorisation), et que l'horizon illuvial d'accumulation « Bg » à très faible structure prismatique, mais à tavelures de couleur rouille et à traînées verticales gris-vert à blanc (sol à pseudo-gley traduisant une hydromorphie temporaire du matériel). Leur superposition que sépare un substantiel dépôt de limon non pédogénisé s'observe en contrebas de l'extrémité ouest de Tell-Douch, comme dans l'épaisseur des buttes ruiniformes en plaine et situées au sud du *tell* de Kysis ou de la colline d'Aïn Ziyada. À la partie inférieure, le développement des horizons semble accompagner l'épaississement progressif des accumulations limoneuses avant qu'elles ne les ensevelissent. Les mêmes traits sur une épaisseur moindre se manifestent à nouveau au sommet de la formation. Ces horizons lacunaires semblent jalonner à l'intérieur de la masse du sédiment des creux topographiques interdunaires. Ils appellent un paysage de milieu semi-aride.

Des traits semblables accompagnent également les faciès erratiques du phréatisme artésien (puits de Dikura). Enfin des traces d'oxydation s'observent dans les actuels amas de sable indurés que traversent les multiples racines des palmiers irrigués (Douch).

Dans le premier cas, les horizons pédologiques illuviaux enterrés ou tronqués confirment l'existence de périodes à couvert végétal capable de développer des

pédogenèses incipientes à la surface des couvertures sableuses ante-holocènes (légère induration et rubéfaction des sables tels les horizons de ferruginisation *in situ* visibles au sud-ouest du *tell* de Kysis, par exemple). On doit sans doute à ces deux épisodes la couleur plus ocre des nappes sableuses d'épandage et sur lesquelles se déplacent les *barkhanes* au matériel plus clair.

Dans le second cas, la position casuelle des traits hydropédologiques est subordonnée à l'activité d'un puits artésien et ne peut avoir la signification d'épisode biopédogénique d'échelle zonale que revêtent les horizons tronqués ou enfouis.

La polygonisation du limon est à dissocier de ces traits pédologiques, car elle ne leur est jamais systématiquement associée. Elle affecte le matériel des deux systèmes sédimentaires. Les fentes verticales peuvent avoir plusieurs mètres de développement et les cellules polygonales un diamètre mesurant jusqu'à deux mètres. La polygonisation du dépôt inférieur reste la plus accusée et se compose des cellules les plus vastes (Aïn Boreq, Dikura [photo 31]). Mais sans continuité au passage d'un système à l'autre, elle souligne indirectement leur autonomie sédimentologique. Elle permet d'affirmer à l'origine des limons gris l'existence de deux grands épisodes de sédimentation.

Ce découpage discontinu est à l'origine des buttes ruiniformes et de leurs flancs à surplombs (photo 56). Il faut donc le lier à un état hydrique particulier, en relation avec les résurgences artésiennes. Les polygones se sont constitués par dessiccation d'un matériel intensément humecté dans son épaisseur. La présence de nappes phréatiques perchées à l'intérieur de crêtes d'interfluve peut être prouvée par deux traits édaphiques que dévoile localement la morphogenèse.

Il existe en effet des niveaux de battement de nappe associant les lits rouges d'oxydation du matériel à des dépôts ou à des enduits minces et sombres sus-jacents (fer et manganèse). Ces niveaux très colorés s'observent localement (Tell-Douch et Aïn Manawir) en position oblique (suintement de source). De semblables niveaux dépôts enduits se retrouvent en plaine et sont à mettre en relation avec des conduits d'hydragogue, les seuls témoins désormais qui subsistent de leur tracé (Douch, Aïn Manawir, Aïn Ziyada). Ces traces sont la preuve que l'eau des nappes captées par les *qanawat* à partir des fissures du grès est riche en hydroxydes de fer et de manganèse, comme celle des puits artésiens alimentés également par le drainage fissural des grès.

On peut associer à ces évolutions édaphiques des accumulations très localisées de dépôts calco-sodiques de type tuffeux, présents aux deux extrémités de Tell-Douch. À l'ouest, ils apparaissent sous la forme d'une assise peu épaisse moulant les pentes d'une ancienne dépression topographique, ou bien sous l'aspect d'un niveau à plusieurs feuillets superposés (2 m de front sur 1 m d'épaisseur), enchâssés dans le limon et y reposant par l'intermédiaire d'une mince assise inférieure plus sombre (fond de mare ou de vasque de source). À l'extrémité est, le calcin affleure sous la forme d'un bandeau peu épais interstratifié dans les limons, à proximité d'une bouche de puits artésien.

Ces dépôts très factuels sont à comprendre comme des suintements de source et des écoulements encroûtants de trop plein de puits (épanchement latéral). Ils sont les témoins d'un drainage oblique d'origine phréatique et de l'imbibition en profondeur des sédiments des buttes profilées. Ils font supposer la présence de nappes perchées localisées sur le flanc

nord de Tell-Douch, encore actives à l'Ancien Empire, car situées dans le secteur des foyers de plein vent qui y sont localisés. Le diaclasage et le redoublement par faille d'affleurements du substrat lithologique capables de faire barrage au drainage oblique favorisent leur constitution.

Ces dépôts calco-sodiques se distinguent des horizons à concrétions ou encroûtement d'origine pédologique. On y caractérise deux sortes de formations indurées dont l'origine diffère.

Des concrétions carbonatées réparties d'une manière diffuse sur un mètre d'épaisseur dans les limons. Ce sont des agglomérats de matériel fin, cimenté par de fines particules calcaires. Sorte de poupées indurées, ces granulats racinaires ont été élaborés en relation avec une pédogenèse de milieu sec. Cet horizon « Ca » couronne la sédimentation du matériel fin et l'horizon illuvial rubéfié. Appartenant en fait à un horizon tronqué, mis au jour par évolution, ces concrétions à l'affleurement sont dégagées par l'érosion sélective éolienne et se prolongent par de micro-yardangs ciselés dans le matériel limoneux, comme il a été dit. Il faut y voir les restes d'un ancien sol gris semi-aride, comme permet de le dire un buisson fossilisé retrouvé en position de vie à proximité de la crête faîtière, à l'extrémité ouest de Tell-Douch (photo 59).

Détachés par la corrasion éolienne, entraînés et accumulés par la gravité ou de rares ruissellements, ces granules peuvent être recimentés et constituer en surface une couche épaisse de quelques centimètres. Le revêtement cimenté scelle des horizons différents et confirme ainsi une formation plus tardive par remaniement.

Ce revêtement se différencie d'un autre trouvé en piémont des *tells*. Des encroûtements *in situ* de carbonate de sodium vagabonds peuvent localiser le fond de petites cuvettes ou dériver d'une boue fine remaniée et indurée par cimentation. Ils traduisent une aridification du milieu et leur formation paraît récente.

À ces encroûtements ou indurations de surface, s'opposent les croûtes de gypse de la dépression, en relation avec des nappes d'eau peu profondes (sebkhas). S'y ajoutent les dépôts gypseux de fissures liés à la polygonisation du matériel limoneux, sites privilégiés pour la croissance des cristaux de sel (Aïn Ziyada, Aïn Manawir, hypogées des nécropoles).

Ces derniers dépôts de plaine n'ont pas les limons gris comme unique substrat, les sables à pédogenèse incipiente peuvent également leur servir de support. Il en est ainsi également pour les nodules globulaires informes de silice amorphe (silex laiteux) formant dans la plaine de Douch des semis (photo 60), signalés aussi dans d'autre secteurs du Sahara oriental et dont on ne sait précisément ni l'origine, ni les conditions de formation [173]. Elles sont peut-être à mettre en relation avec les résurgences phréatiques dont l'écoulement nourrissait des mares temporaires aux eaux stagnantes, au fond desquelles elles ont pu se constituer (faciès de mare à fort ph) [174]. Leurs limites d'affleurement

[173] R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 497 ; F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980. R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 288 et C.V. Haynes in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 360-362.

[174] P. Birot, *Les processus d'érosion à la surface des continents*, Paris,1981, et particulièrement p. 129-133.

semblent, en effet, jalonner les rives d'une nappe d'eau ou le lit d'un chenal (plaine de Douch, est de Dikura, photo 60). La silice est fournie par l'action d'une eau vadose qui circule sous pression dans les diaclases des grès, comme le montrent des cimentations de fissures à Aïn Ziyada (photo 16). L'abondance des gels siliceux suppose une bonne alimentation en eau. Actuellement, les nodules forment à la surface du sable un pavage très lâche mis en relief par la déflation éolienne. Leur patine peu prononcée par rapport à celle des quartz foncés trahit une précipitation géologiquement récente qui n'est toutefois pas historique, mais plutôt d'âge fini-pleistocène à holocène ancien.

Ces différents faciès d'évolution résultent de plusieurs phases de pédogenèse qui n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques bioclimatiques. Les deux plus anciennes à sols hydromorphes paraissent plus humides que la dernière à sol semi-aride. Dans certains cas, une variabilité zonale de la pluviosité n'est pas à invoquer pour justifier la succession des pédogenèses, puisque l'alimentation en eau peut être d'origine artésienne et dépendre des fluctuations de la nappe profonde. Dans ce cas, la signification n'a pas de sens bioclimatique, seulement une signification circonstancielle et hydrodynamique.

De même, la dispersion des traits d'évolution singuliers souligne-t-elle, malgré la couverture des limons, l'influence de la fracturation dans l'alimentation des nappes phréatiques hautes. L'écoulement sous pression de l'aquifère fissural des grès explique en surface la présence et la fréquence des bouches artésiennes alignées selon les orientations des fractures, ainsi que la polygonisation et l'hydromorphie des limons à leur proximité. Ces traits d'évolution indépendants des conditions zonales du moment reflètent donc fort peu les caractères du milieu.

Aussi est-on amené à distinguer des horizons pédologiques étroitement commandés par les conditions bioclimatiques et des figures d'évolution édaphiques commandées par la dynamique des bouches artésiennes et la circulation vadose des grès. Autrement dit, l'artésianisme inflige un double sens aux évolutions pédologiques observées. La différence se mesure par l'échelle qu'elles impliquent.

Des niveaux d'incendie et des couches à cendres se retrouvent dans le système des limons gris. Des traces d'incendies ou de feux colorent ponctuellement en noir ou en rouge brique à différents niveaux le matériel des buttes profilées. Les unes correspondent à des niveaux de calcination définis par la présence de plaquettes sombres de scories ; les autres caractérisent des couches de cendres ou des traces de calcination d'origine anthropique.

En surface, on observe des niveaux de calcination qui signalent d'anciens et minces horizons ou dépôts carbonatés (photos 65, 67, 68). À Tell-Douch, à son extrémité occidentale ou dans des dépressions de la plaine ainsi qu'à Dikura, en amas désordonnés ou épousant la limite des bassins des puits, s'observent des affleurements de scories noires à verdâtres, matériel calciné et léger, plus léger que celui des scories de four. À ces scories s'associe un dépôt fin, gris-vert, très pulvérulent, cendreux. À quoi s'ajoutent des restes calcinés de végétaux (Tell-Douch, secteur ouest).

Ces scories peuvent être interprétées comme les restes en place ou plus ou moins dispersés d'horizons pédologiques calcinés à croûtes calcaires aux feuillets minces. Elles dessinent aussi des affleurements géométriquement bien délimités qui supposent une lente exhumation

par la déflation éolienne. Elles représentent les dépôts d'un fond de mare ou reproduisent de leur anneau la limite circulaire d'un cratère de puits artésien, perché par évolution. Elles subsistent comme témoins d'incendie.

Par méthanisation des débris végétaux, ces résidus calcinés résultent de la consumation spontanée des plantes poussant autour de la bouche artésienne. Ces traces de feux peuvent être ainsi d'origine plus naturelle qu'anthropique. Aucun reste de cuisine (os) n'a été trouvé à proximité, aucun tesson brûlé ou non, aucun outil ou éclat de silex, comme pour les foyers en plein vent de l'Ancien Empire. Ces faciès se distinguent aussi de ceux des fours de potier par l'absence à leur voisinage de tout refus de cuisson. Ils ne peuvent être considérés non plus comme des revêtements internes de four, beaucoup plus épais et lourds, et d'une matière différente.

On trouve également des traces d'incendie dans le premier système de sédimentation. Il n'est pas rare d'observer dans le limon des tiges brûlées de graminées. Pour ces autres cas, les témoins calcinés résultent aussi d'incendies qui ont détruit le couvert végétal desséché. Ces brûlis pourraient traduire l'effet d'une aridification progressive du milieu, qui, en facilitant le déclenchement d'incendies, aurait réduit en cendres les tiges desséchées d'un couvert végétal d'herbacées ou de graminées, à touffes dispersées.

De leur côté, les couches à cendres d'origine anthropique peuvent être réparties en deux catégories.

Les traces des foyers de surface se repèrent aux lits de charbons de bois et aux couches minces de cendres pulvérulentes encore en place. Leur répartition est quelconque. Le sable les recouvre. Ces feux de plein air (Aïn Ziyada-ouest, plaine de Douch est) sont postérieurs à l'abandon du site ou contemporains des dernières phases de son occupation.

Les foyers enterrés ont une autre signification. Hors ceux dont les résidus sont mêlés à des détritus antiques mis au jour par la fouille à Kysis même, on trouve à Aïn Ziyada, à Dikura et à l'extrémité ouest de Douch des traces de foyers anciens interstratifiés dans les limons éoliens. Ils s'accompagnent parfois d'un mobilier anthropique (outils de silex, éclats, débris de cuisine [os], tessons).

À Aïn Ziyada, à l'extrémité ouest du *tell*, à la base d'une des buttes profilées, le foyer est un niveau à petits charbons de bois recouverts de blocs de grès. Il se situe à la partie inférieure du second système à sédiment sablo-limoneux.

À Tell-Douch, les horizons brûlés sont bien circonscrits et reposent à la surface du premier système, ou à la base des sédiments du second système. Dans l'épaisseur d'une crête, un de ces foyers, le mieux conservé et le plus complet, présente la superposition de trois niveaux (photo 196). À la base, une assise rouge brun n'est autre que le substrat sablo-limoneux cuit et induré par la chaleur du feu. Au-dessus l'horizon sombre du foyer est un sable charbonneux. Le niveau supérieur clair est fait de cendres largement réétalées. Le plus souvent ne subsistent que les deux horizons inférieurs (Dikura).

Ces horizons calcinés révèlent l'état édaphique et hydrique très sec du milieu. Ils confirment une occupation ancienne des *tells* et de leurs environs. Interstratifiés dans les formations sablo-limoneuses, ils leur établissent ainsi un âge récent, puisque historique.

Interprétation du modelé des buttes profilées et de leurs faciès

Les buttes profilées ont acquis leur morphologie depuis peu, à l'échelle des temps géologiques. Elles se développent aux dépens de systèmes sédimentaires emboîtés dont les modelés propres ne subsistent plus que sous la forme de traces discrètes et à une échelle différente de celle des buttes. Le dépôt de leur matériel résulte d'une aridification progressive du milieu entrecoupée d'épisodes à pédogenèse.

La déflation éolienne explique le profil des yardangs. Un ravinement préalable fixe les interfluves qu'elle remodèle. D'autres buttes ont une origine plus complexe car l'homme a pu intervenir. Aussi est-on amené à distinguer à côté des yardangs, des buttes profilées considérées alors comme de pseudo-yardangs. Les processus de genèse comme d'évolution et la morphologie originelle des nappes sablo-limoneuses rendent compte de la multiplicité des faciès qui composent les buttes.

Le premier système sablo-limoneux détritique peut être interprété comme un dépôt au faciès voisin de celui d'un limon éolien sans vraiment atteindre la qualité d'un lœss. Sa position de dépôt d'interfluve le souligne, outre ses caractères sédimentologiques et granulométriques qui reflètent une origine locale à régionale. Plaquée contre les reliefs, ennoyant un modelé antérieur de nappes sableuses et de chenaux, l'accumulation passe en piémont à des dépôts ruisselés et décantés dans des dépressions éoliennes inondées dont il ne faut exagérer ni la profondeur, ni l'étendue, ni la longévité ou l'ancienneté (témoignage indirect de *Melania tuberculata*). L'alternance de fins lits argileux et de niveaux sableux traduit un milieu aride à régime pluviométrique très irrégulier. Le couvert discontinu de graminées est en accord avec ces conditions climatiques ; de même, les sols hydromorphes. La présence de ces faciès erratiques traduit une intervention du phréatisme artésien. Ils montrent que l'embayment ne connaissait pas d'épandages sableux aussi généralisés que ceux d'aujourd'hui. Les limons gris proviennent de l'attaque par le vent des glacis taillés aux dépens des schistes de Quseir.

Le système supérieur relève d'une évolution d'abord semblable (sols hydromorphes), puis légèrement différente à son terme, car nettement plus sèche (sols à concrétionnements). Il s'agit d'un voile sableux discontinu (nebkas), à remaniements locaux, et désormais en cours de destruction (faciès ruiniforme des buttes de Dikura et d'Aïn Ziyada). On reste cependant dans un milieu aride. En revanche, il est assez tardif, puisque parfois historique (couches à cendres de l'Ancien Empire), à la différence du premier en partie pré-holocène (tardiglaciaire) pour ces faciès les plus inférieurs. Il est surtout caractérisé par une plus grande occurrence des faciès erratiques qui traduisent l'influence de deux faits singuliers.

D'une part, celui du phréatisme artésien, instable en fonction d'un abaissement progressif de la nappe hydrique. La dissémination des éjecta l'indique, mais également la répartition des faciès évolutifs. Ces derniers montrent l'existence d'un assèchement édaphique plus prononcé des pentes d'amont (faciès à granulats), d'incendies plus fréquents (calcination du couvert végétal et des dépôts encroûtants des puits), d'oscillations affectant le niveau des nappes perchées. Ils soulignent le tarissement des suintements de pente et des sources, le mauvais écoulement, un lessivage médiocre (granulat). Ils révèlent un engorgement des fonds (induration). L'aridification est à la fois climatique et

édaphique. L'une, plus précoce que l'autre, provoque l'affaiblissement progressif de la dynamique artésienne. On passe d'un phréatisme de piémont à un phréatisme de dépression (régime d'oasis).

D'autre part, celui d'une intervention de l'homme (éjecta d'origine anthropique, liés au développement de l'œkoumène des oasis) en fonction de l'abaissement progressif des nappes. L'assèchement a dû se réaliser avec des fluctuations, comme le révèlent les différents systèmes hydrauliques retrouvés autour de Kysis. On pourrait dire que l'homme responsable de l'aridification édaphique rend le milieu plus sensible à l'aridité climatique déjà installée mais que l'artésianisme masquait ponctuellement.

Cette évolution s'observe avec la disparition des horizons pédologiques. De même, les faciès erratiques d'accumulation éolienne, expliqués en fonction des obstacles occasionnés par les éjecta naturels ou non des puits artésiens, traduisent la part de plus en plus grande prise par le vent. La destruction des horizons pédologiques, la mise en relief des formations localisées dans les creux de la topographie traduisent également cette emprise de la déflation sur l'évolution géomorphologique du paysage.

Deux moments semblent propices au développement des buttes profilées. L'un après l'Ancien Empire, mais atténué au cours du développement de Kysis (phase courte de repos morphogénique). L'autre, au cours même de l'occupation du site, à la fin de l'époque romaine (phase de reprise de la morphogenèse).

2.16 LES SYSTÈMES MORPHOGÉNIQUES À L'ORIGINE DU MODELÉ DE LA PLAINE DE DOUCH

Le modelé associe des formes dont la genèse est étroitement commandée par un processus, au point qu'à l'échelle de la dépression, les incisions de l'érosion linéaire et les glacis de l'érosion aréolaire s'opposent aux apports éoliens et aux formes d'érosion du vent. On constate ainsi que le modelé est le résultat de morphogenèses successives qui supposent une alternance de climats arides et plus humides. On peut situer certaines de ces alternances au cours même de l'époque historique.

2.16.1 LES NAPPES ÉOLIENNES, LES LIMONS DES BUTTES PROFILÉES ET DES YARDANGS DE DÉFLATION ET DE CORRASION ÉOLIENNES

Les nappes éoliennes définissent les revêtements de sable qui s'étendent sur les dépôts alluviaux et les glacis de la plaine de Douch. Elles résultent de périodes où le vent est l'agent morphogénique exclusif.

Toutefois, on doit comprendre ce dépôt de limons gris en bourrelet plaqué au front des collines, à proximité d'une dépression, comme représentatif de celui dénommé lunette par la géomorphologie des pays arides. Sa morphologie modifiée était, à l'origine, proche de

cette forme que l'on observe actuellement dans certains déserts, tel celui du Kalahari, ou en Tunisie [175].

Le relief des buttes profilées et des yardangs semble en revanche erratique en raison de sa dispersion actuelle dans le paysage. Il caractérise un dépôt discontinu aux dépens duquel il s'est réalisé. Il se compose de monticules gris-olive à gris beige, à la forme dissymétrique et aérodynamique comme celle d'un fuselage. Morphologiquement comparables à des yardangs considérés comme des formes de déflation éolienne, les buttes profilées sont inégalement volumineuses et hautes, parfois isolées (replat de la hamada), parfois groupées en petit nombre (Douch) ou en troupe serrée (Dikura ou Aïn Ziyada). À ces formes étroites, il faut joindre celles de monticules assez larges, des dômes perchés à mi-pente des reliefs (Tell-Douch ouest, Dikura) ou bien évidés, réduits parfois à l'état de monticule en ruine (Douch nord, Dikura). L'observation montre que tous ces tertres ne correspondent pas aux caractéristiques des yardangs.

Les yardangs s'expliquent en effet par la déflation et la corrasion éolienne à la suite d'un scénario qui en fonction de ce type de matériel suppose :

- le dépôt du sédiment tendre interprété comme celui d'une playa, à condition que la topographie originelle réceptacle soit celle d'une cuvette, ce qui n'est pas le cas des buttes profilées d'interfluves, mais seulement celui des buttes de plaine ;
- l'incision par la suffosion, le ruissellement ou le vent ;
- l'élargissement des couloirs par la déflation éolienne, les interfluves des ravins acquérant peu à peu le profil des yardangs ;
- la mise en relief et le perchement par rapport au plancher actuel de la plaine.

L'apparition des yardangs se réalise selon les étapes qui mènent d'une période humide à une période aride, et à condition que le dépôt soit à l'origine celui d'une playa. Le système morphogénique se transforme également en fonction de cette transition. Les yardangs qui en résultent sont des formes d'évolution d'un remblai palustre dont la mare s'est retirée de ses rives.

Aussi, sauf à ennoyer sous une nappe d'eau épaisse d'au moins soixante mètres la région de Douch, la présence de buttes en position dominante d'interfluve culminant jusqu'à 110 m, oblige à nuancer ce schéma applicable seulement aux buttes de plaine (Baris). Les buttes de collines dérivent d'un dépôt éolien contemporain par passage latéral, ou postérieur par emboîtement. Dans ce dernier cas, la sédimentation du matériel comme l'apparition du relief ne sont plus strictement en phase avec les épisodes du scénario qui règlent la confection des yardangs. En outre, la forme même de ces buttes sur relief, telles celles en forme de dôme, ont le profil, le faciès et la distribution désordonnée de dunes phytogéniques. La forme profilée est donc amorcée dès la genèse ; elle est d'ordre sédimentologique. Dans ces conditions, le système morphogénique paraît plus complexe puisqu'il associe aux processus humides responsables d'une certaine

[175] D.S.G. Thomas, D.J. Nash, P.A. Shaw, C. Van der Post, « Present Day Lunette Sediment Cycling at Witpan in the Arid Southwestern Kalahari Desert », *Catena* 20, 1993, p. 515-527. R. Coque, « Sur la place du vent dans l'érosion en milieu aride. L'exemple des lunettes (bourrelets éoliens) de la Tunisie », *Méditerranée* 35/1-2, 1979, p. 15-21.

induration du matériel (faciès d'évolution pédologique), des phénomènes éoliens antérieurs, parce qu'à l'origine des dépôts, ou ultérieurs parce qu'à l'origine des buttes redécouvertes.

La complexité de cette évolution provient du fait que certaines de ces buttes reposent sur une nappe d'ensablement antérieure. On dénombre ainsi au moins trois épisodes récents plus arides dont le dernier est historique, puisque des foyers datés de l'Ancien Empire ou des murs ensevelis y ont été repérés.

Enfin, des buttes présentent des faces abruptes semblables à des fronts de taille qui les évident. Dans ces conditions, leur modelé résulte d'une d'évolution d'origine anthropique. Pour cette raison on distingue les buttes profilées, dont l'origine peut être diverse, des yardangs, résultat direct de la déflation éolienne.

2.16.2 LES DÉPÔTS D'ÉCOULEMENT ET DE RUISSELLEMENT

Ces dépôts sont différents. Ils démontrent que les phénomènes torrentiels à l'origine de tous ont vu leur intensité décroître dans le temps.

Les nappes grossières du piémont qui déterminent la couverture des cônes-glacis sont le résultat d'un système morphogénique où les processus torrentiels de type désertique commandent l'agressivité de la dynamique. Des averses violentes sont à l'origine de ces actions qui ont à la fois détruit la corniche et construit avec ses débris charriés les différentes nappes d'épandage dénombrées sur le piémont. Ce système s'est répété plusieurs fois. La réincision de ces dépôts dépend en revanche d'un système dont la dynamique s'est réduite à entretenir un modelé de dissection.

Les dépôts colluviaux souvent grossiers (pavage de pente) sont inégalement indurés par une légère cimentation pour les plus anciens. Ils relèvent d'un système où interviennent des processus mécaniques et, plus rarement, des phénomènes de soutirage et de ruissellement.

Les dépôts d'épandage de plaine connaissent une évolution autonome. Les plus récents associent encore à une fraction fine une fraction grossière. Les plus anciens ne sont plus représentés que par leur fraction grossière, inégalement sombre et patinée, en position perchée d'interfluve ou disséminée au fond des cuvettes hydroéoliennes (reg). Ces nappes ont été étalées par un processus de ruissellement diffus, actif à la fin des crues torrentielles. Elles sont contemporaines des incisions linéaires qui ont disséqué les cônes-glacis.

Les buttes profilées de piémont peuvent fossiliser un dépôt de playa fin et lité d'origine hydrique. Des coupes montrent que les assises inférieures alternent de fines passées limoneuses et compactes (moins du cm) et des couches de sablons à fines structures obliques ou entrecroisées, entre lesquelles s'intercalent de très minces lits de sables plus grossiers. Ce faciès qui caractérise les assises de base passe latéralement au dépôt qui constitue les placages éoliens adossés aux reliefs. En effet les dépôts sablo-limoneux lités se situent aux débouchés des chenaux des plus grands oueds qui incisent le rebord de la hamada, la

cuvette s'étant logée dans des drains anciens. Les dunes grises qui se situent à leur lisière s'organisent en fonction d'un vent de nord – nord-ouest.

Les assises inférieures en raison de leur faciès et de la présence répétée de *Melania tuberculata* représentent les dépôts d'une nappe d'eau permanente, alimentée par des écoulements au régime peu turbulent et de salinité inférieure à deux pour mille. Il s'agit d'un dépôt d'une période humide et relativement récente, puisqu'il se situe à l'aval de la plaine d'épandage des oueds les plus tardivement emboîtés dans le piémont détritique de la hamada. Les dunes qui leur sont contemporaines ou plus tardives indiquent que le milieu reste sec. Par comparaison avec des dépôts semblables décrits en Libye [176], on peut en raison de la malacofaune présente les dater au plus tôt du Tardiglaciaire entre 16 120 et 13 760 BP +/-185. Les dunes peuvent se développer au cours d'un épisode éolien daté pour les mêmes contrées de Libye de 5 000 BP. À Tell-Douch, elles feutrent l'extrémité du *tell* à l'époque de l'Ancien Empire (IVe dynastie-VIe dynastie).

2.16.3 LES ÉVOLUTIONS DES DÉPÔTS IN SITU

Les buttes profilées contiennent des horizons d'accumulations ferro-manganiques (concrétions) ou carbonatées (croûtes) qui témoignent la constitution de nappes phréatiques perchées. Il faut y ajouter la présence de colonies de gastéropodes continentaux en fuseau de type *Melania tuberculata* et, plus rarement, un pulmonidée à torsade courte de type *Bulinus truncatus*. En plus, l'épaisseur des buttes profilées est découpée par un réseau de fentes polygonales de dessiccation ou de retrait. Ces traits révèlent une forte humidité édaphique persistante.

De plus, on observe dans le matériel des buttes et des nappes sableuses antérieures des traces d'hydromorphie et de rubéfaction. Des restes de végétaux en place attestent une évolution pédologique. Il faut donc considérer ces figures comme celles d'une période plus humide que l'actuelle. Le total précipité estimé est de l'ordre de 150 mm/an. Il est capable d'assurer la présence d'un couvert végétal apte à coloniser rapidement les petits édifices dunaires qu'il contribue à former. La pédogenèse est alors synsédimentaire.

L'intérêt de la présence assez tardive d'une telle évolution est qu'il fait supposer des conditions hydriques capables d'assurer annuellement la recharge des nappes phréatiques. On peut estimer la valeur des volumes à 50 l/m^2/an (50 mm/an). Comme la période humide a pu avoir une durée de deux millénaires, on peut concevoir que la recharge des nappes semi-profondes de Douch et de ses environs a pu être utilisée encore au moment de l'occupation des sites.

Mais, nappe fossile, elle a pu être menée assez rapidement à épuisement. Le développement des réseaux de *qanawat* l'exprimerait, traduisant plus sans doute une recherche

[176] H.J. Pachur, *op. cit.*, 1980, p. 781-788. On retrouve des évolutions comparables dans N. Petit-Maire, J. Riser, *Sahara ou Sahel ? Quaternaire récent du Bassin de Toudenni (Mali)*, Paris, 1983.

opiniâtre de l'eau que l'exploitation d'une ressource abondante laquelle pourrait être de surcroît fournie par des condensations nocturnes.

En outre, le développement des yardangs aux dépens des sables gris ou leur façonnement parfois historique en buttes profilées illustrent bien la rapidité avec laquelle s'est effectué le passage de l'aride à l'hyperaride, et, dès lors, inclut l'évolution de ce dépôt sous les seules déflation et corrasion éoliennes. Depuis l'époque de la IVe dynastie, le milieu n'a cessé de se dessécher et l'aridité de s'accentuer, hors l'occurrence un peu plus humide de l'époque gréco-romaine.

Par évaluation du volume enlevé, on peut estimer l'ablation éolienne à une valeur de 1 à 2 mm/an (soit 1 m par millénaire). Une valeur identique est également retenue pour l'ensemble de l'oasis de Kharga et de celle de Dakhla à Balat [177].

La déflation éolienne historique ou postérieure à l'occupation des sites est également du même ordre. Mais elle s'est effectuée sans doute d'une façon très irrégulière, puisque les parcellaires les plus exposés sont toujours visibles. Une vue générale des formations conduit à confirmer les observations ponctuelles et l'interprétation qu'elles suggèrent.

2.17 LA RÉPARTITION SPATIALE DES FORMES ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

La reconnaissance de ces dépôts reste circonscrite au secteur de Douch. À plus petite échelle, leur extension géographique grâce à l'établissement d'une spatiocarte (pl. I) conduit à leur attribuer une valeur chronostratigraphique.

2.17.1 DÉTERMINATION

La répartition des formations superficielles a été établie à partir d'images fournies par satellite [178]. La méthode a déjà été utilisée pour définir les formations superficielles du désert libyque, mais les images Landsat alors utilisées, d'un pixel de 80 m [179], n'ont pas été vérifiées en fonction de valeurs enregistrées *in situ*. En revanche, les enregistrements traités des images SPOT ont été supervisés sur place, le long de transects subdivisés en

[177] C.V. Haynes, in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 364, avance des taux d'ablation qui selon les époques peuvent varier entre 1 cm/an et 0,7 cm/an.

[178] Les deux images SPOT ont été acquises à 16 mois d'intervalle : l'une le 19 mars 1989 en mode multibande (XS), l'autre le 28 juillet 1990 en mode panchromatique (XP). Le traitement a été réalisé par Marc Robin sur le matériel du département « Image, mer, aménagement régional » (IMAR) de l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes (IGARUN).

[179] Cf. l'étude des formations superficielles menée dans la région du Gilf al-Kébir par Grolier et Schultjean, *op. cit.*, cf. *infra*, note 193.

unité-étalon dont la référence fut un pixel corrigé réel de 23 m [180]. La spatiocarte des formations superficielles présentée a donc une plus grande précision à la fois spatiale et sédimentologique (pl. I et II). Pour la région de Douch, elle contribue, en outre, à identifier les secteurs qui peuvent, avec une forte probabilité, contenir des sites agricoles et villageois anciens (pl. III, voir *infra,* § 2.19.5).

Les mesures *in situ* effectuées durant les deux premières semaines de novembre 1991 avaient plus d'un an de décalage par rapport à l'enregistrement radiométrique XS. Aussi ont-elles été effectuées sur des cibles estimées invariantes dans le temps en termes de réflectance. Les cibles choisies intéressèrent la formation de limons gris dans laquelle se développent les yardangs à Dikura, les vannages sableux fixés par micro-reliefs et reconnaissables sur les images (Tell-Douch ouest), la surface caillouteuse d'un glacis (secteur d'Aïn Boreq), le pavage éolien à gros éléments (Aïn Manawir). D'une image à l'autre, les corrélations entre les valeurs radiométriques de ces surfaces sont très correctes [181]. Soixante-six mesures ont été plus particulièrement effectuées en trois itinéraires, le premier au droit de Tell-Douch selon un transect nécropole/première dune phytogénique à l'est du temple en pierres ; un deuxième dans le secteur des puits/cônes d'éjecta, à l'est de Tell-Douch, le troisième au nord-est de Dikura jusqu'à Aïn Ziyada. Chacun de ces transects a été réalisé en fonction d'un repérage reporté sur les images SPOT pour associer les valeurs radiométriques aux types de formations superficielles rencontrées.

Pour le transect (1), le point de départ (surface de la nécropole) est une surface d'argilite grise reconnaissable sur les images XS et XP (XS1 :115, XS2 :116, XS3 :135) dont les réflectances donnent 36,8 (V), 43,9 (R) et 47,2 (IR). Le point d'arrivée (dune de sable très fin, blanc, partiellement recouvert de végétaux desséchés) est aussi visible sur l'image XS (XS1 :106 ; XS2 :118 ; XS3 :132) dont la réflectance donne 22,2 (V), 34,1 (R) et 41,1 (IR). De la nécropole à la dune terminale, 23 mesures ont été ainsi faites tous les 23 m de telle sorte que, théoriquement, chaque saisie soit exécutée au centre

[180] Les séries de mesures effectuées à l'aide d'un radiomètre de simulation CIMEL du satellite SPOT ont été à chaque fois calées en latitude et longitude à l'aide d'un système de positionnement par satellite (GPS). Douze points d'appuis visibles sur les images SPOT ont aussi été positionnés pour une correction des images en latitude et longitude (dunes fixées par tamarix, parcelles d'oasis, puits, carrefour de pistes, nécropole, temple de Douch). La nécessité de travailler au pixel près (l'échelle de recherche archéologique nécessite la précision maximum) nous a conduit à tester la taille d'un pixel. Pour ce faire, la distance entre deux points très visibles sur les images a été mesurée (le premier point est la maison de fouille, le second est la cour centrale du temple) une première fois par un topographe de l'IFAO à l'aide d'un théodolite, une seconde fois par deux positionnements GPS, une troisième fois par la distance lignes/colonnes séparant le pixel-maison de fouille du pixel-cour centrale du temple. Il ressort de ces mesures comparatives que le pixel XS mesure environ 23 m de côté. Les enregistrements (1991) et la vérification du traitement (1992) ont été faits sur place par Marc Robin.

[181] Elle est de 0,89 entre la bande rouge de l'image XS et l'image XP ; les corrélations linéaires entre les valeurs radiométriques de ces surfaces séparées par plus de 16 mois autorisent la recherche de relations linéaires du même type entre les deux images et les mesures *in situ* effectuées sur les mêmes surfaces, avec un décalage ici encore de 16 mois entre celles-ci et l'enregistrement XP.

d'un pixel XS. Le résultat de ces mesures faites au pixel près sont présentées dans les tableaux situés en annexe *in fine* [182].

Les formations superficielles ont des réflectances très voisines les unes des autres. Le tableau ci-dessous résume quelques-unes des réflectances typiques de quelques formations très répandues (moyenne sur 5 mesures).

Formation	Vert	Rouge	Infrarouge
limon gris à fente de dessiccation	31,9	40,4	40,9
surface à blocs (glacis-piémont)	27,9	36,3	45,2
pavage caillouteux sombre (P1)	27,7	40,6	45,3
pavage éolien grossier (P2)	28,4	40,7	46,2
niveau éolien fin ocre (P3)	30,1	40,4	42,3
vannage éolien blanc (dune)	37,8	57,7	62
croûte salée	28,4	39	43,2

Les soixante-six mesures *in situ* faites dans les trois bandes vert-rouge-infrarouge sont mises en relation au pixel près avec les soixante-six valeurs radiométriques vert-rouge-infrarouge correspondantes.

Une recherche des meilleures corrélations est présentée dans la matrice des corrélations suivante où :

***C1** est la mesure* in situ *dans la bande verte ;* — ***XS1** est la bande verte de SPOT,*
***C2** est la mesure* in situ *dans la bande rouge ;* — ***XS2** est la bande rouge,*
***C3** est la mesure* in situ *dans la bande infrarouge.* — ***XS3** est la bande infrarouge.*

Les autres variables sont des indices destinés à souligner la couleur des sols. Ils sont régulièrement utilisés dans la littérature : il s'agit de l'indice de brillance des sols donné par (XS12 + XS22)1/2

***ibxs** pour l'indice calculé sur les 66 mesures SPOT XS et de l'indice de couleur des sols donné par (XS2-XS1)/(XS2 + XS1)*
***ibci** pour l'indice calculé sur les 66 mesures* in situ *et de l'indice de rougeur des sols (indice original [183], donné par XS22/XS13) ;*
***irxs** pour l'indice calculé sur les 66 mesures SPOT XS.*
***irci** pour l'indice calculé sur les 66 mesures* in situ ;
***icxs** pour l'indice calculé sur les 66 mesures SPOT XS ;*
***icci** pour l'indice calculé sur les 66 mesures* in situ.

[182] Signification des colonnes du tableau : C1, C2, C3 : mesures *in situ* dans la bande verte (V), rouge (R) et infrarouge (IR) - XS1, XS2, XS3 : valeurs radiométriques correspondantes sur l'image XS ; pour les colonnes de IB (CIMEL) jusqu'à IC pour C, -Xlong., Ylat. : position de la mesure en ligne/colonne ; -X°long., Y°lat. : position en longitude et latitude à partir du méridien international (cf. annexe *in fine*).

[183] M. Pouget, J. Madeira, E. Le Floc'h, S. Kamal, « Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière nord-ouest de l'Égypte : Application aux données satellitaires SPOT », deuxième journée de télédétection, *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales,* ORSTOM, 1990, p. 27-38.

	c1	c2	xs1	xs2	ibxs	ibci	irxs	irci	icxs	icci
c1	1.000									
c2	0.923	1.000								
xs1	0.464	0.579	1.000							
xs2	0.319	0.504	0.927	1.000						
ibxs	0.377	0.540	0.969	0.991	1.000					
ibci	0.966	0.991	0.549	0.449	0.493	1.000				
irxs	-0.370	-0.183	-0.200	0.180	0.046	-0.252	1.000			
irci	-0.888	-0.707	-0.229	-0.085	-0.139	-0.782	0.374	1.000		
icxs	0.020	0.262	0.576	0.839	0.759	0.182	0.684	0.152	1.000	
icci	-0.340	0.041	0.209	0.389	0.330	-0.091	0.477	0.627	0.555	1.000

La matrice montre une forte corrélation entre les bandes verte et rouge, aussi bien pour les mesures *in situ* que pour les valeurs radiométriques SPOT XS. Une corrélation moyenne unit les mesures *in situ* aux valeurs radiométriques SPOT (0,504 entre C2 et XS2, 0,579 entre XS1 et C2). Ces corrélations moyennes s'expliquent par une probable modification de l'état de surface entre l'enregistrement de l'image XS et les mesures *in situ*.

Des surfaces réputées invariantes dans le temps ont pu localement être recouvertes par un vannage sableux ou des poussières qui suffisent à modifier leur réflectance et abaisser les corrélations. En effet, les surfaces de la dépression de Kharga sont des sites de transit sableux d'origine éolienne. Les trois transects réalisés sont situés sur la marge orientale d'un champ de *barkhanes* où l'on peut observer l'intense mobilité qui se traduit sur l'image par des zones de déflation. Si l'on restreint les corrélations à quelques surfaces reconnues comme réellement invariantes (surfaces sur des éminences topographiques donc hors de portée des vannages, et surfaces sous le vent où les formes d'accumulations sont stables dans le temps), les corrélations sont plus fortes. Du fait de ces corrélations moyennes, une correction en termes de réflectance ne se justifie pas. Elle a été tentée à titre indicatif à partir de la meilleure relation obtenue entre la bande XS1 de SPOT et la bande C2 *in situ*.

On notera les diverses qualités des indices de sols : l'indice de rougeur des sols est le plus décorrélé avec les bandes XS1 et XS2. Cet indice se révèle intéressant pour établir une bonne discrimination des surfaces minérales.

Ces différents indices conduisent à établir la disposition des formations à la surface de l'embayment de Baris. Cette distribution spatiale des dépôts est obtenue par la méthode de l'équidensité colorée (pl. I et II).

Signification des abréviations employées dans la légende des pl. I et II

Om = *ombre désigne le pourcentage d'ombre et la valeur radiométrique estimée d'un pixel. Des simulations d'ombre sont faites sur diverses surfaces susceptibles d'en être pourvues : de la croûte craquelée (photo 1, 50) aux ombres de versants de glacis ou de ravines.*

RM = *ripple-mark désigne des surfaces sableuses avec rides de sables (photo 38) n'excédant pas le décimètre. La multiplication de ripples-marks avec versant au soleil et versant à l'ombre confère une radiométrie particulière à une surface minérale. Une surface lisse est plus réflectante qu'une surface rugueuse (photos 29, 50).*

De = *sable blanc et fin,* barkhanes, *traînes de déflation, sifs (photo 35), tous les types d'accumulation. Deux classes radiométriques type dans* **De** :

	V	R	IR
De exposé au soleil	37,8	57,7	62
De à l'ombre	30,3	46,2	50,4

Eb = *éboulis, surfaces caillouteuses de cônes-glacis du piémont (photos 26, 46), surface chaotique catastrophique.*

P1 = *pavage constitué de petits gravillons de silex foncé (photo 48) d'un diamètre de 0,5 à 2 cm, fortement patinés et piquetés par abrasion éolienne. Ce pavage tend à signaler deux types de secteurs : les premiers topographiquement déprimés (cuvettes, fonds d'oued), les seconds en relief (bourrelets sinueux (bourr) au sud et à l'est de Tell-Douch, qui pourraient être assimilés à d'anciens chenaux d'oued actuellement en relief inversé* [184].

P2 = *pavage éolien grossier constitué de petits grains de silex orangé d'un diamètre de 0,1 à 0,5 cm, aussi fortement patinés, (nappe ogolienne ?)* [185].

P3 = *niveau sableux ocre plus ou moins induré à la base. Sable fin d'un diamètre d'environ 0,01 à 0,1 cm* [186].

D'une façon générale, le pavage P1 et le pavage P2 sont envahis par P3.
Dans les mesures effectuées, il a été tenu compte des pourcentages de P1, P2 ou P3 affleurant en surface sur 400 m^2 soit l'équivalent d'un pixel XS.

cr = *croûte salée ou grésifiée. La croûte salée se comporte radiométriquement différemment, selon qu'elle est lisse (forte réflectance) ou bien fragmentée, chaotique (réflectance directement liée aux effets d'ombre (photo 1). La croûte situe un niveau de base local ; elle signale parfois d'anciens parcellaires.*

Li = *limon gris (photo 31), la plupart du temps avec fentes de dessiccation (ou argilite). Le limon sous-tend souvent les pavages de type P. Le parcellaire antique est le plus souvent établi sur le limon gris.*

Nbk = *nebkas. Elles sont comptabilisées par surface de 400 m^2 (photo 11). La nebka, éminence sableuse fixée par un buisson généralement vert ou desséché, piège du sable blanc sous le vent (photo 34). Plus le nombre de nebkas augmente et plus la valeur radiométrique augmente (effet de coalescence des traînées sableuses : la proportion de sable sous le vent augmente par rapport au nombre de nebkas fixant les traînées).*

[184] V.C. Haynes, in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 359.

[185] *Ibid.*, p. 368.

[186] *Ibid.*, p. 359 (sables pédogénisés).

Descriptif des classes des pl. I et II

1. *Classe de parcelles d'oasis à l'ombre, ou de la formation P1 à forte densité de cailloux (90 %) = noir.*
2. *Classe de tamarix verts sur fond sableux. Classe faiblement représentée = noir.*
3. *Végétation verte (parcelles vertes d'oasis irriguées) = noir.*
4. *Végétation desséchée (buissons, tamarix) sur fond sableux = noir.*
5. *Surfaces sombres diverses : surfaces chaotiques à l'ombre, ombres dans les oasis, nappe P1 très dense (100 %). Cette classe est plus sombre que la classe 6 = noir.*
6. *Formation P1 à 100 % (nappe alluviale préogolienne ?) = noir.*
7. *Classe de surface chaotique indifférenciée après extrapolation = bleu foncé.*
8. *La nappe alluviale P1 masquée à 80 % par le pavage P2 = bleu foncé.*
9. *La nappe P1 masquée à 60 % par le pavage P2 = bleu foncé.*
10. *Surface composée à 35 % de P1, 50 % de P2 et 15 % de P3. Dans cette classe s'inscrivent les bourrelets (chenaux inversés, photo 60) avec un effet de densité du pavage P1 sur les rebords. La confusion est assez forte = vert foncé.*
11. *La formation P3 recouvre presque à moitié (40 %) le limon gris. Cette classe est l'autre classe « parcellaire » reconnue comme telle sans équivoque, avec un minimum de confusion. Les parcellaires sont généralement recouverts en partie d'un mince voile de sable ocre qui feutre les levées entre les parcelles = vert foncé.*
12. *La nappe d'épandage P2 recouvre toute la surface du pixel = vert foncé (vieille dune provenant du vannage de P1).*
13. *La nappe alluviale P1 en voie de recouvrement par la formation P3 avec une faible densité (10 % de la surface d'un pixel), restes de nappes d'épandage ou d'anciens chenaux d'écoulement = cyan.*
14. *La formation P2 détermine toute la surface du pixel avec la présence de 3 à 5 nebkas = vert.*
15. *Le pavage P2 détermine toute la surface du pixel avec la présence d'une dizaine de nebkas = vert clair.*
16. *La nappe P2 émerge à 50 % d'une formation P3. Elle est affectée de RM et d'éléments plus grossiers. Dans cette classe s'inscrivent les cônes des* qanawat *(photos 76, 77, 82, 87) et les cônes d'éjecta des puits. La confusion est possible avec Eb par extrapolation à l'ensemble de l'image = rouge.*
17. *La formation P3 masque en partie (75 %) un soubassement soit de limon gris, soit de croûte (confusion encore plus forte pour la prospection des sites) = rouge.*
18. *Surface composée à 35 % de De, sable blanc et fin, 50 % de P2, 15 % de P3 = rouge.*
19. *La nappe P2 émerge à 75 % de la formation P3, ou avoisine un dépôt de limon gris ou des croûtes = magenta.*
20. *Surface composée à 60 % de De, 20 % de P1 et le reste de P2 = magenta.*
21. *Sable fin et blanc de déflation recouvrant à 70 % une surface chaotique (éboulis de glacis du piémont) ou une croûte brisée avec un effet d'ombre de 20 % = orange (photo 1).*
22. *La formation P3 masque à moitié un soubassement soit de limon gris, soit de croûte (confusion plus forte si prospection des sites par extrapolation) = orange.*
23. *Sable fin et blanc de déflation recouvrant à 70 % une formation P2 = jaune-orange.*
24. *Nappe sableuse éolienne, ou manteau sableux remanié, P3, dissociation d'anciennes couvertures à pédogenèse faible, envahissant P1 et P2 ou masquant partiellement (30 %) un soubassement, soit de limon gris, soit de croûte. Les parcellaires masqués par le sable ocre dans cette proportion s'inscrivent en partie dans cette classe et en partie dans la classe 11. Par extrapolation à l'ensemble de l'image, la classe 24 peut signaler la présence de parcellaires antiques = jaune.*
25. *Surface composée à 80 % de De sur 20 % de P2 = jaune.*
26. *Limon gris pur (photo 31). Classe peu représentée, le limon étant souvent en grande partie masqué par d'autres formations superficielles. Elle se trouve toutefois représentée en quelques secteurs émergeant des épandages sableux et signalant des éminences topographiques couronnées de yardangs (photos 53, 54). De ce fait, cette classe est très importante pour le repérage des sites à irrigation par* qanawat *= blanc.*
27. *90 % de De sur nappe P2 = blanc.*
28. *Surface de sable clair, à l'ombre (sif, nebka). Cette classe intègre les effets de la cinématique des sables récents entre l'image XS et l'image P (contours de* barkhanes, *vannages) = blanc.*
29. *Classe de* barkhanes, *avec effet d'ombre sur 60 % d'un pixel (plus claire que la classe 28) = blanc.*
30. *Même classe que la 28 mais fortement éclairée = blanc.*
31. *Classe de* barkhanes, *exposées au soleil (plus claire que la classe 30) = blanc.*

2.17.2 CLASSIFICATION

Le traitement de l'image brute consiste à obtenir une classification supervisée [187] en procédant en deux étapes. Le procédé a pour but de distinguer les différentes formations détritiques et de distribuer leur répartition (pl. I et II).

À partir de trente et un échantillons, la première étape cherche à initialiser la classification, en fonction de secteurs reconnus homogènes sur le terrain.

Les diverses classes peuvent être mêlées au sein d'un pixel de 400 m^2. Les simulations ont été faites de façon à optimiser ce mélange plutôt que de rechercher des signatures pures. Des convergences d'effets aboutissent à des classes morphologiquement hétérogènes. Ainsi la classe 22 groupe-t-elle des éboulis du piémont totalement à l'ombre (100 %), des parcelles d'oasis à l'ombre et des surfaces totalement recouvertes par un pavage P1. L'opacité est leur facteur commun.

Cette classification permet d'établir la présence de cinq formations principales :

NP1, nappe alluviale ou d'épandage à l'état résiduel ;

NP2, nappe sableuse, par vannage de **NP1** ;

NP3, nappe arénique, pédogénisée, puis remaniée, vannage partiel de **NP2** ;

NP4, nappe de bordure de playa, à limon gris, due à la déflation exercée sur les glacis argilo-schisteux dénudés ;

NP5, nappe arénique mobile, sable de vannage des dépôts antérieurs et apports extérieurs avec l'apparition des *barkhanes*.

En se fondant sur le taux de présence d'une formation, sur celui de la dispersion du matériel grossier, sur le taux de recouvrement d'une formation par une autre et celui de présence des dunes par pixel et en %, on peut établir un tableau de distribution des classes. On peut ainsi définir une sorte de gradient de dégradation ou de fossilisation des formations résiduelles par rapport aux formations sableuses les plus récentes (**NP5**).

%	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5
10 %	13	12, 14, 15			
15 %					
20 %					
30 %			21		
35 %	10				18
40 %			11		
50 %		16, 25, 15	22		
60 %	9				20
70 %					23
75 %		19	17		
80 %	8				25
90 %	1		13		27
100 %	6		14, 15	26	28, 30, 31, 12, 19.

[187] MAXCLAS, classification par maximum de vraisemblance, programme ERDAS sur SUN-4.

La deuxième étape a pour but de contrôler la classification par maximum de vraisemblance à partir des échantillons mesurés et positionnés sur le terrain par GPS.

Ce contrôle [188] prend la forme d'un sondage. 14 mesures fiables faites *in situ* en secteurs homogènes sont comparées aux 14 pixels classés correspondant en latitude et longitude. De ces quatorze comparaisons, les statistiques sont les suivantes :

	2	3	7	9	10	11	15	16	17	19	24	26	27	28
2	1													
3		1												
7			1											
9				1										
10					1									
11						0								
15							1							
16								0						
17									1					
19										1				
24						1					1			
26												1		
27													1	
28								1						1

Les 14 classes horizontales correspondent aux classes d'affectation des mesures *in situ* ; les 14 classes verticales correspondent aux numéros des classes de pixels par maximum de vraisemblance. On constate que 12 mesures *in situ* sont bien classées. Par contre, deux sont dans d'autres classes. La 11 est confondue avec la 24. Ces deux classes sont en effet assez proches radiométriquement, mais les distinguer repose sur le souci de rendre plus évident leur surface chaotique en relation avec l'irrigation. Il s'agit de différencier les puits et leurs éjecta des éboulis de piémont. Le risque de confusion n'est donc pas négligeable. L'autre approximation de classification vise la mesure *in situ* 16 et classée en 28. Là, on a un effet d'ombre sur une surface claire dont la radiométrie s'approche d'une surface mêlant deux pavages aux teintes différentes.

Les erreurs peuvent aussi être des erreurs de localisation : d'une part la précision du repérage GPS n'est pas fiable à 10 m près [189] ; d'autre part, la méthode de rééchantillonnage des images (Nearest Neighbor) a été appliquée avec une erreur résiduelle de 1 (RMS error) soit

[188] Ce contrôle est fait à l'aide des modules POLYCAT et CLASERR du programme ERDAS.

[189] Certains calages ont été faits à partir de deux satellites et sont moins précis que ceux effectués à partir de trois satellites.

concrètement une vingtaine de mètres. Il y a de ce fait possibilité de comparaison entre une mesure *in situ* bien référencée sur le terrain et un pixel qui ne lui correspond pas précisément en coordonnées géographiques et donc thématiquement. Cette erreur est susceptible d'être retenue dans des secteurs peu homogènes. C'est particulièrement le cas de la classe 11 : à côté des surfaces chaotiques de puits et d'éjecta s'étendent des surfaces homogènes.

Au total, ce sondage nous donne une précision de classification de 86 %. Les 14 % restant peuvent être mis au compte de l'évolution des états de surface entre l'enregistrement satellitaire et les mesures *in situ*, ou d'erreurs de positionnement GPS [190].

2.17.3 RÉPARTITION

Le document en couleurs (pl I) [191] couvre un espace de 30 km d'ouest en est sur 40 km du nord au sud. On reconnaît dans la partie nord la forme de l'oasis de Douch. Le premier tirage présente l'ensemble des classes. Le second, fraction du premier, comprend les sites d'Aïn Manawir, Tell-Douch, Dikura et Aïn Ziyada et présente les classes groupées par proximité radiométrique. Des plus sombres aux plus claires, on reconnaît respectivement :

- en noir les classes de 1 à 6 ;
- en bleu foncé les classes 7 à 9 ;
- en vert foncé les classes 10 à 12 ;
- en cyan, la classe 13 ;
- en vert clair, les classes 14 et 15 ;
- en rouge les classes 16 à 18 ;
- en magenta les classes 19 et 20 ;
- en orangé les classes 21 à 23 ;
- en jaune les classes 24 et 25 ;
- en blanc les classes 26 à 31.

Cette affectation des couleurs répond à un souci d'individualiser les deux grandes familles de formations superficielles présentes dans la région et définies par l'analyse géomorphologique du modelé. Chacune est caractérisée par un processus morphogénique (fig. 23 et pl. I et II).

Les formations à coloration « froide » (noir, bleu, vert foncé, cyan, vert clair) sont mises en place par ruissellement (pavages *P1*) et par gravité (éboulis). Elles affleurent en dehors des principaux secteurs d'accumulation sableuse :

- sous le vent de l'escarpement par taches plus ou moins discontinues, restreintes ou au contraire étendues (tache de 6 km × 6 km au pied de l'escarpement, à l'est du champ central de *barkhanes*) ;
- sur les rebords d'éminences topographiques (pourtour de Tell-Douch) ;

[190] Les positionnements des mesures du sondage ne correspondant pas à des points de calage de l'image, mais à des points rééchantillonnés par modèle polynomial de déformation.

[191] Source : tirage sur imprimante à transfert thermique et à partir de diapositives d'écran.

– dans le fond de cuvettes, probablement d'anciens niveaux de base locaux (nord de Douch, ouest du champ central de *barkhanes*, ouest du champ nord de *barkhanes*). La corrélation est nette entre ces formations et l'emplacement des oasis fixées dans des secteurs déprimés vers lesquels convergent les oueds.

Les formations à coloration « chaude » (rouge, magenta, orangé, jaune, blanc) sont mises en place par éolisation : qu'il s'agisse des limons – en minorité –, ou des sables de *barkhanes* et autres dunes, sifs, nebkas – en majorité. Ces formations sont disposées dans le sens du vent, nord/sud. Deux grandes familles peuvent être distinguées : la famille des formes construites type *barkhanes*, et la famille des vannages et saupoudrages.

On notera que ces deux familles tissent des relations complexes entre elles : la seconde famille succède à la première en ce qui concerne le champ dunaire nord ; en revanche, la seconde famille précède la première en ce qui concerne le champ dunaire central. L'escarpement est en partie responsable de cette distribution des formations sableuses dans cette partie de la dépression de Kharga. Ces deux familles masquent les formations « froides ». On le remarque au niveau du champ de *barkhanes* central qui s'avance sur elles et les recouvre progressivement.

2.17.4 TYPOLOGIE

Reconnaître et caractériser les formations superficielles n'est pas suffisant. Comme ces dépôts ont une signification dynamique, leur représentation conduit à déterminer les systèmes morphogéniques et leur succession (fig. 23).

Dans ces conditions, il faut considérer les relations géométriques qui les affectent, emboîtement, superposition ou juxtaposition. Cette détermination aboutit, en effet, à une chronologie relative des dépôts, bien que les épisodes arides soient des périodes de destruction des héritages et de dissémination des sédiments. De même, leurs faciès aident à comprendre le cheminement de l'eau à l'intérieur des couvertures détritiques. Ils aident aussi à déterminer la présence et l'extension des nappes perchées si nécessaires à une irrigation dont les équipements ont un rendement limité.

Parmi les faciès recensés, certains se sont révélés particuliers, entre autres ceux des buttes profilées et des yardangs. En apparence comparables, ils se révèlent au moins aussi diversifiés que ceux des autres régions où de telles échines (ridges) ont été également observées [192]. Cette diversification s'explique par l'exploitation hydrogéologique faite à l'époque romaine des buttes de grès. Aussi certains de ces yardangs ou pseudo-yardangs permettent-ils de repérer de courtes crises, dont les effets morphologiques ont pu jusqu'à présent échapper, faute de témoins chronologiques aussi précis que les restes archéologiques qu'ils fossilisent. En ce sens, les dépôts ont une signification archéologique ou géo-historique.

[192] Entre autres, F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, et en particulier, R. Said, *op. cit.*, 1990, appendix 1 : « The Quaternary Sediments of the Southern West Desert of Egypt : an overview », p. 281-289 et fig. A1.1 (Carte des formations superficielles). La description de ces formations comprend entre autres les dépôts de source et d'évents artésiens qu'ont su également utiliser G. Caton-Thompson, E.W. Gardner, *op. cit.*, 1932.

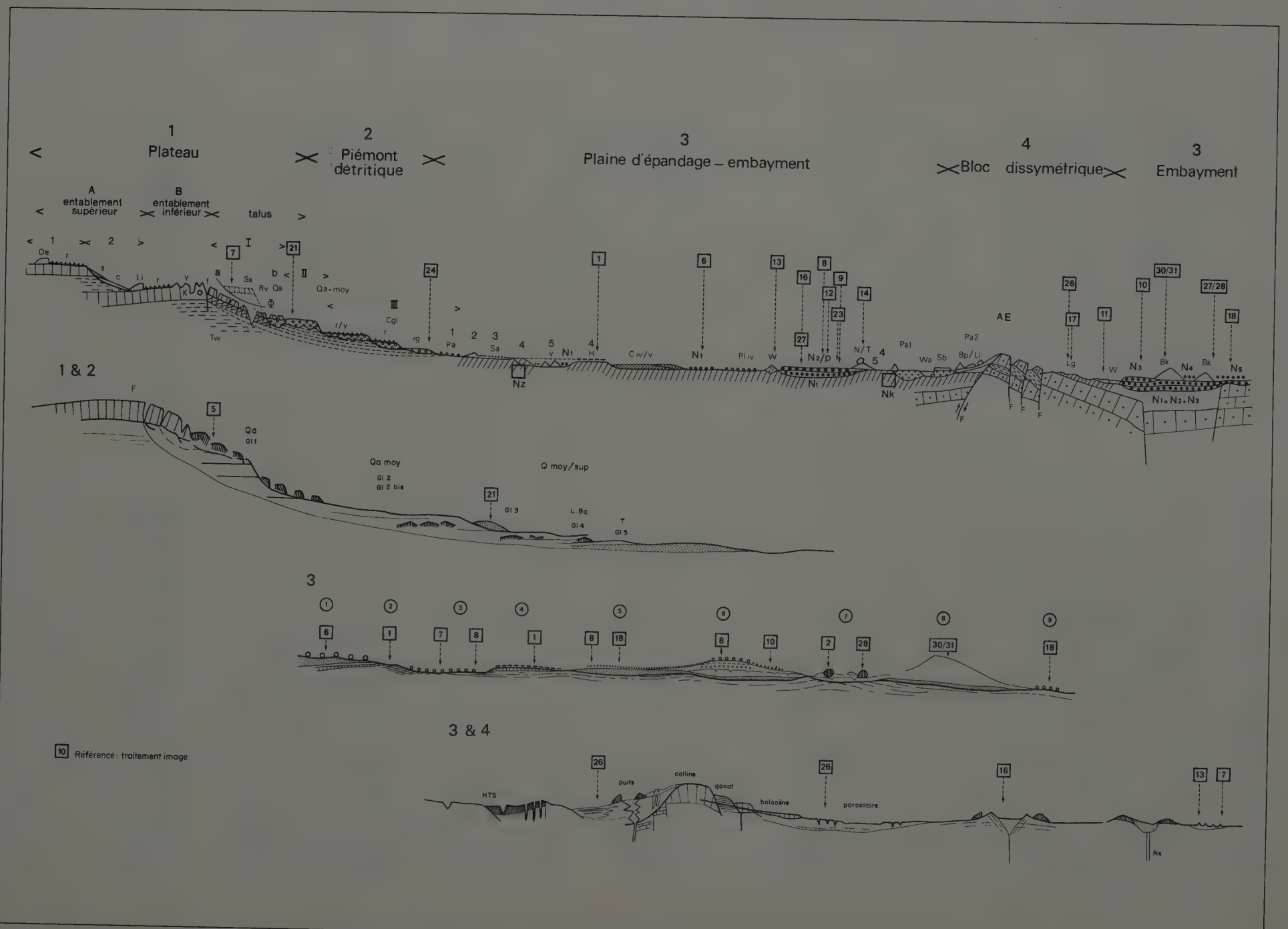


FIG. 23. *Le modelé : répartition des formes et des formations superficielles.*

1. Plateau et son front

A. Entablement supérieur.

1. hamada. De : dunes vives et y = yardangs ; r = rainuration éolienne de corrasion et couloir de déflation.

2. front (corniche et talus). S = ensablement de la corniche et des entonnoirs obséquents ;

c = cône alluvial récent et chenaux incipients ; Li = butte profilée de limon gris.

B. Entablement inférieur.

Front : r = rainuration du plan stratigraphique du replat et méga-rainures ; y = yardangs dans le calcaire ;

f = fentes de détente et blocs éboulés. Topographie permettant l'établissement de parcellaire de pente.

K = karst de surface et souterrain (chenaux et grottes), gorge ; Sx = solifluction et descente chaotique des blocs ;

Rv = ravinement et remobilisation des débris ; Tw : tête d'oued avec versants emboîtés.

2. Piémont détritique

Topographie de glacis étagés recouverts de nappes grossières.

I. Zone d'effondrement avec ravinement et glissement du Quaternaire ancien.

a. Évolution de la corniche F = plan de glissement.

b. Dépôt chaotique avec patine sombre (Q. anc.), cône glacis, perché et effondré.

II. Cônes-glacis à patine. La tête est fossilisée par l'effondrement chaotique (Q. anc/moyen). Entre I et II, dénivellation majeure (100 m).

III. Cônes-glacis étagés à couverture détritiques à patine plus claire. Cgl = cône-glacis et couverture détritique du piémont. Étagement de trois cônes-glacis avec traces de rainures (r) et dégagement de yardangs (y). Versant de raccord à des terrasses d'oued avec reg de surface (rg). Parfois, dédoublement du pénultième glacis.

3. Embayment et plaine d'épandage

Nappes d'épandage atténuant une topographie de glacis surcreusés par des cuvettes hydro-éoliennes, elles-mêmes atténuées par des nappes aréniques éoliennes. Dissection fossilisée par les nappes aréniques récentes. Dépôts chimiques (croûtes) ou de décantation (dépôt fin et lité de playa).

1 = lit d'écoulement d'oued avec chenaux et basse terrasse (parcellaire d'oued).

2 = bourrelets de décharge de crue avec levée de décharge.

3 = nappe d'épandage d'écoulement récent.

4 = glacis de dénudation.

5 = cuvette hydroéolienne avec yardang (y). Nz = nécropole de Aïn Ziyada ou Nk = nécropole de Kysis.

C IV/V, cône d'épandage fin des deux derniers cônes/glacis du piémont. Pl = playa avec silex laiteux.

W = chenal d'oued inversé. Sa = nappe arénique vive. N1 = nappe alluviale ancienne (résidus de graviers éolisés).

N2 = nappe arénique (sable roux sombre). N3 = nappe arénique (sable roux clair ogolien ?).

N4 = nappe éolienne holocène (sable ocre) ; N5 = nappe arénique claire récente. H = hamada de météorisation.

Bk. = *barkhane*. N/T = nebkas ou tertres phytogéniques. Wa = Oued atténué par les nappes aréniques.

Parcellaire sur nappe arénique grossière et parcellaire sur sable holocène.

4. Collines dissymétriques

Érosion différentielle et ensablement généralisé (S).

Bp/Li = buttes profilées dans les limons gris avec sites Ancien Empire (AE) et parcellaires de verger d'oasis.

Sb = sebkha et croûte. Pa1 = puits artésien de plaine. Pa2 = puits artésien de ligne de faille.

Les formations détritiques ont été décrites, définies, classées, datées et cartographiées pour le désert libyque et certains de ses secteurs méridionaux [193]. En s'inspirant d'une symbolique déjà utilisée, pour le Gilf Kébir [194], on peut distinguer pour l'embayment de Baris et la plaine de Douch un certain nombre de taxons supplémentaires.

– Pour le Gilf Kébir, huit taxons ont été retenus qui associent processus dynamiques et types de dépôts.

Les dépôts éoliens.

Qs2 : épandages sableux.
Qdl : dune linéaire.
Qs1 : épandages sableux à patine.
Qdb : *barkhanes*.
Qsp : couverture sableuse stable.

Les dépôts fluviaux et colluviaux.

Qay : les dépôts des chenaux d'écoulement.
Qac : les dépôts alluviaux anciens et les dépôts de pente (colluvions).
Qg : les épandages grossiers.

– Pour le secteur de Tell-Douch, des critères dynamiques permettent de mieux différencier les formations superficielles entre elles. Elles se répartissent en fonction des principaux agents morphogéniques.

Les agents de transport.

Le vent : d'une part, les couvertures sableuses remaniées par le vent en surface, rides et placages, et d'autre part, les dunes vives : dunes longitudinales sous le vent des obstacles, *barkhanes*, nebkas.
L'eau : les dépôts fluviatiles d'épandage, les dépôts ruisselés.

[193] B. Issawi, *op. cit.*, 1971, plus particulièrement p. 82-84, distingue les couvertures conglomératiques du Pleistocène, les surfaces argileuses des playas, les croûtes de sel associées aux playas et les tertres phytogéniques des puits, les épandages sableux et les dunes ; M. El-Hinnawi, A.M. Abdullah, B. Issawi, *op. cit*, 1978, p. 37-39, définissent l'Holocène par les dunes et les croûtes salées, le Pleistocène par les dépôts lacustres (playas), les tufs et les travertins, les terrasses d'oueds, le Plio-pleistocène par des épandages grossiers. R. Saïd, *op. cit.*, 1990, propose lui-même la mise au point la plus récente in chap. 25 « Quaternary » p. 487-507, et plus particulièrement p. 491-499, § « Sediments of Desert », où il distingue : 1. Les dépôts éoliens dunaires, 2. Les dépôts fluviaux sous la forme de dépôts sableux et de cours d'oueds en relief inversé, 3. Les dépôts détritiques et chimiques de source et du karst, 4. Les dépôts lacustres et du type playa et leurs épandages protecteurs de calcédoine (silex laiteux), avec une carte, fig. 25.4, p. 494 et un tableau chronologique, fig. 25.10, p. 502 ; F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980 et R. Said, *op. cit.*, 1990, in Appendix 1, et V.C. Haynes in Appendix 6, décrivent en se complétant les formations superficielles de la partie sud-ouest du désert Libyque d'Égypte qui peuvent servir de références comparatives à celles du secteur de Douch ; enfin, M.J. Grolier, P.A. Schultjean in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, chap. 14, « Geology of the southern Gilf Kebir Plateau and Vicinity, Western Desert, Egypt », p. 189-205, définissent les formations superficielles de la région du Gilf al-Kébir (cf. texte).

[194] Cf. M.J. Grolier, P.A. Schultejean, in F. El-Baz, T.A. Maxwell, *op. cit.*, 1982, fig. 14.1, carte des formations superficielles.

Les agents de la météorisation.
La désagrégation mécanique : les régolites ;
les dépôts de pente et de surface à nu ;
les dépôts de désagrégation.
L'altération et la sédimentation physico-chimique :
les dépôts halins ;
les concrétions calcaro-gypseuses et carbonatées ;
les dépôts d'oxydes de fer et de manganèse
et les nodules de silex laiteux.
Les altérations pédologiques : altérites et sols fossiles ou tronqués.

Les dépôts mixtes physiques et anthropiques.
Les limons ruisselés gris olive.
Les accumulations provoquées
Les éjecta des puits et des *qanawat*.

2.17.5 INVENTAIRE

À Tell-Douch, l'observation de terrain permet d'affiner ces taxons, en y joignant les résultats obtenus en laboratoire et les données déduites des mesures radiométriques.

Pour le matériel éolien, il faut distinguer entre les dunes sableuses ou limoneuses, pleistocènes, historiques récentes à actuelles, soit :

Q = Quaternaire.
QH : Quaternaire récent, souvent Holocène, parfois historique datant :
ds : dune sableuse (photo 4) ;
dl : dune limoneuse (photo 15) ;
s : épandage de sable (photo 8).
Soit :
QHdsb : les dunes vives et mobiles : type *barkhanes* (photo 16) ;
QHdl : les dunes à limon gris holocène ;
QHdlh : les dunes de limon historiques ;
QHs : les poussières éoliennes et les épandages éoliens mobiles :
rides, placages éoliens, etc. (photo 7).

Et les couvertures sableuses plus anciennes, pleistocènes, soit :
QP : Quaternaire Pleistocène ;
QPsr : les placages de sable anciens à reg de surface (photo 10) ;
QPsc : les couvertures sableuses ante-holocènes remaniées par le vent
(photo 25).

Pour les eaux courantes, il faut séparer :

QH/haz : les alluvions de lit d'oued, Holocène ou historique (photo 47) ;
QP/Hay : les basses terrasses Pleistocène ou Holocène (photo 49) ;
QPax : les alluvions anciennes à la surface remaniée par le vent (photo 46) ;
QP/Hcp : les épandages et les décharges de crue de type chaotique, Pleistocène et Holocène, du piémont (photo 42).

Mais déterminer, même approximativement, l'antériorité d'une formation alluviale est parfois difficile, en raison du fonctionnement discontinu des bassins-versants. En particulier, pour les formations les plus récentes, les emboîtements nets sont peu marqués. Le matériel est en outre semblable puisqu'il provient du remaniement de dépôts antérieurs. L'éolisation peut être un indice sans qu'il soit possible de vraiment dégager un gradient qui aurait une valeur chronologique.

Pour les colluvions :

Qcr : régolite ;
Qcv : dépôts de pente ou de versant de la météorisation mécanique (photo 44).

Pour les dépôts à genèse mixte :

QHlg : limon gris naturel :
soit ruisselé : Qlgr (photo 57) ;
soit éolien : Qlgv (photo 57) ;
QHlgh : limon gris anthropique ;
QHej : les éjecta, déblais de creusement de *qanat* ou de forage et curage de puits.

Dans les cas pour lesquels la détermination chronologique est incertaine, on peut s'appuyer sur un principe géomorphologique d'évolution. Soit, plus le dépôt est perché, en position d'inversion de relief par l'érosion éolienne, plus le dépôt est ancien *i.e.* pleistocène, comme il a été fait pour le piémont de Umm al-Dabadib.

Enfin il faut ajouter aux dépôts, les formes d'érosion par le vent ou le ruissellement.

Vr : les rainures inscrites sur le plan stratigraphique des couches calcaires.
Vc : les cannelures modelées sur les parois.
Lgy : les yardangs et buttes profilées des limons gris-vert (photo 55).
Cv : les cuvettes de déflation.
Fv : les figures de corrasion : cupules, *taffoni* ou encoches.
R : les ravines dans le matériel tendre (schistes et limons).

Ces différentes formations ont une histoire qui accompagne celle du modelé. Elles se comprennent dans le cadre du paysage et en fonction de son élaboration.

2.18 HISTOIRE DU MODELÉ

Dans le secteur de Douch, la mise en place des formes et de leurs dépôts corrélatifs se situe à l'intérieur du Quaternaire dont les époques sont désormais définies, pour le Sahara oriental, en fonction d'un cadre chronologique très général [195].

Mais les formations superficielles de ce secteur peuvent-elles avoir aussi valeur d'unités stratigraphiques et permettre l'établissement d'une chronologie, qui reste par ailleurs encore incomplète et incertaine ? Avant de répondre, il faut les situer à l'intérieur des grandes unités morphologiques du paysage.

2.18.1 ÉTABLISSEMENT D'UNE CHRONOLOGIE

Depuis le Quaternaire, le Sahara, et en particulier sa partie centrale et occidentale, est une région exposée à des conditions d'aridité inégalement accentuées. À certaines époques, comme à l'Holocène humide, le paysage de désert peut quasiment disparaître au profit d'un sahel [196]. Dans le Sahara oriental, les dépôts montrent qu'ils ont participé à un régime alterné de phases humides et sèches, succession de pluviaux et d'arides, ces derniers pouvant être autant frais que chauds [197]. Les épisodes de biopédogenèse marquent faiblement le milieu puisque le couvert végétal reste celui de la steppe et au mieux, très ponctuellement autour des points d'eau, celui d'une savane ouverte. En revanche, les épisodes de morphogenèse aride détruisent ces héritages furtifs et fragiles [198]. Ils facilitent en même temps l'installation de dunes et de nappes d'épandage aréniques, qu'altèrent les fluctuations bioclimatiques ultérieures. La connaissance du paysage et de son évolution repose donc sur l'observation et l'interprétation des retouches apportées aux faciès détritiques et à leur géomorphologie. Une telle reconstitution, par essence fragile, le reste pour d'autres raisons.

Certains dépôts à faciès catastrophique ne doivent pas leur aspect seulement à une pluviométrie diluvienne. En effet, parmi les facteurs possibles de leur amplification, les événements sismiques auront d'autant plus de conséquences morphogéniques que le substrat lithologique est saturé d'eau. En effet, les écroulements se réalisent, préparés par le mécanisme de la dilatance-diffusion des fluides qui agit dans la roche, au cours de la phase de préparation du rejeu tectonique. Le catastrophisme de l'évolution ayant

[195] La synthèse chronologique la plus récente pour l'Égypte est fournie par R. Saïd, *op. cit.*, 1990, p. 499-503. Pour le Sahara, la dernière mise au point est faite par P. Rognon, *op. cit.*, 1989, voir plus particulièrement la 4e partie, « Le ballet des pluviaux et des arides », p. 189-270. Pour le secteur oriental, elle est définie dans F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 223-241.

[196] P. Rognon, *op. cit.*, 1989, cf. 4e et 5e parties.

[197] D'après R. Said, *op. cit.*, 1990, on compterait sept pluviaux. Deux anciens entre 1,2 MA et 0,7 MA, et cinq : Idfuein (Quaternaire ancien), Abbassien I (0,4 MA, conglomérat des plateaux) et II (0,3 MA), Saharien I (0,120 MA) et II (0,100 MA, nappes détritiques des piémonts du Quaternaire moyen et récent) et Nabtien (Tardi-glaciaire, 0,010 MA) avec trois périodes humides (8300-8150 BP ; 7700-7600 BP ; 6600-6400 BP) et trois périodes sèches d'une durée comprise entre 150 et 200 ans (6300-6150 BP ; 5700-5600 BP). Également cf. B. Meissner et P. Wycisk Ed., *Geopotential and Ecology. Analysis of a Desert Region, CATENA*, Supplement 26, 1993, 199 p., 6 cartes H. T. J. Kröpelin y offre la synthèse la plus récente p. 31-65, dans : « Geomorphology Landscape Evolution and Paleoclimates of Southwest Egypt ». La dépression de Kharga aurait connu un épisode humide entre 7 000 et 1 000 avant notre ère.

pour effet d'exagérer par trop la pluviométrie réelle, semble-t-il, on ne peut donc déduire du faciès de certains dépôts le total des précipitations, ni la densité du couvert végétal qu'il impliquerait. Aussi une plus exacte compréhension de la trame tectonique et de son activité récente permet-elle pour les expliquer d'envisager l'intervention d'une sismicité historique, dont le mécanisme initial de fissuration du substrat serait redevable aux venues artésiennes.

Le risque de surévaluer ainsi les phénomènes peut entraîner l'établissement d'une périodisation bioclimatique fallacieuse. Le dispositif structural semble, pour cette partie du Sahara, avoir facilité les éruptions artésiennes [199]. Or, et la mise en valeur du milieu par Kysis tend à le montrer, un tel phénomène, qui règle la mobilité des nappes, peut accorder un sursis au maintien de l'œkoumène, délai qui équivaut à un décalage dans le temps de trois à quatre siècles. Une telle durée correspond également à celle des courts épisodes plus secs, connus pendant l'Holocène [200]. Dans ces conditions, ce phénomène à effet de retard inhibiteur favorise localement la persistance de milieux qui ne représentent plus l'environnement de la zone morphoclimatique du lieu et du moment.

Hors ces deux cas d'exception non négligeables, la distribution et le faciès des dépôts semblent obéir pour l'ensemble des formations à la disposition zonale saharienne dont les paysages différents ont des limites fluctuantes. L'observation spatiale le confirme, en opposant au désert en position centrale un paysage limitrophe ordonné en bandes biopédogéniques à densité végétale progressive [201]. On peut tenir pour certain que, dans le Sahara oriental, un cœur de désert, selon l'expression consacrée, a toujours été présent. Le total des précipitations semble y avoir oscillé de celui d'une région hyperaride, comme maintenant, à celui d'une région seulement aride dont la pluviométrie est égale à 100 mm/an. Il conserva cependant une pluviosité irrégulière, pour des raisons locales d'origine topographique.

Pendant le Quaternaire, au fur et à mesure de son approfondissement, au total 300 m à 400 m, la dépression de Kharga a toujours subi, en les intensifiant, des conditions arides, en particulier, pour son secteur septentrional le plus en position d'abri. Mais, parce que plus ouverte aux influences du sud dans sa partie méridionale, il se peut qu'une limite bioclimatique ait partagé la dépression, séparant d'une zone récurrente et mobile de steppe ouverte, au sud, le désert, lui-même plus permanent au nord [202].

Plus large au sud, la dépression de Kharga semble y avoir été plus nettement sous l'influence fluctuante de la mousson tropicale africaine que les régions plus septentrionales

[198] Le concept de dépôts tronqués fait appel à un épisode de destruction par morphogenèse après une période de biopédogenèse à l'origine des sols.

[199] Les éruptions artésiennes sont considérées comme un des phénomènes naturels de ces régions au point d'avoir une signification climatique aussi bien pour G. Caton-Thompson que pour F. Wendorf.

[200] Cf. la chronologie de F. Wendorf, pour l'Holocène, in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980.

[201] Cf. l'étude sur la zonation biopédogénique de l'Afrique occidentale in *Méditerranée* 54/1-2,1985.

[202] F. Wendorf in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, insiste sur cette éventualité même s'il avoue ne pouvoir le prouver que très indirectement par la dissymétrie des rives de la dépression lacustre de Bir-Sahara plus abruptes au nord parce que face aux vents forts de la mousson. La répartition des formations superficielles d'ordre biopédogénique au nord peut être également un de ces arguments indirects. Par son erratisme, liée aux inonda-

ne l'ont été aux influences des centres dépressionnaires boréaux. Celles-ci ont eu à subir, en outre, les influences sèches liées aux hautes pressions de leurs anticyclones [203]. Toutes ces raisons ont pour effet d'accentuer l'aridité de ces contrées.

Enfin, l'étude des sédiments oblige à considérer les dépôts comme polygéniques. En effet les accumulations sont composées d'une fraction dont les caractères sont liés au transport par le vent, et d'une autre dont les caractéristiques impliquent une origine biopédogénique, telles les concrétions carbonatées d'un horizon Btc, ou bien une origine plus aquatique par ruissellement pluvial ou écoulement hydrique, telles les lamines de sable fin. À la suite de la disparition des fractions fines que le vent des périodes arides a détruites, la plus grande homogénéité granulométrique observée est donc acquise et se comprend comme le résultat d'un enrichissement absolu en éléments ou plus grossiers ou plus fins. Aussi, moins intense que celui des écoulements éoliens antérieurs, le vannage actuel des voiles sédimentaires permet-il, par des différences de couleur et de granulométrie, de saisir plutôt des évolutions superficielles, des remaniements que de suivre de véritables morphogenèses.

En revanche, les dépôts anciens présentent dans l'épaisseur de leur corps sédimentaire des discordances cartographiques ou des recouvrements par accordance qui ont la signification de lacunes de sédimentation. Ces discontinuités stratigraphiques révèlent des épisodes de morphogenèse dont les témoins géomorphologiques peuvent être très réduits. Les faciès des limons gris en fournissent la meilleure preuve.

Dans ces conditions, l'inventaire précis des événements, comme leur succession chronologique, se révèlent-ils difficiles à établir, même si les données chronologiques, elles-mêmes imprécises, que peuvent fournir les outils lithiques, la flore, la faune et la céramique, peuvent lui être jointes. En outre, la comparaison avec d'autres secteurs sahariens, si elle apporte d'heureuses analogies, n'est pas raison pour autant [204], l'orient du Sahara n'ayant pas le même rythme que son occident.

Enfin, une même attitude critique peut être adoptée à propos des datations radiométriques [205], dont certaines effectuées sur des restes coquilliers de Douch. Des contaminations par recyclage des ions calcaires peuvent en effet entraîner un vieillissement exagéré de la faune considérée.

De même, lorsqu'on trace les limites des territoires occupés par l'homme, faut-il tenir compte des différents sens que la géographie attribue à l'étendue. Cette entité spatiale qui a une signification paysagère, n'offre pas, elle non plus, une acception rigoureuse. À l'époque antique ont coexisté différents types de contrées, le milieu naturel caractérisé par ses traits paysagers du passé et du moment, le milieu aménagé ou œkoumène, la technique y définissant son degré d'artifice comme la probabilité de son maintien, enfin le territoire administré dont les limites outrepassent celles des finages. À cette étendue s'attachent les représentations de l'environnement que l'imaginaire des sociétés élabore. Parmi ces

tions artésiennes semblables à celles du site de Dikura, elle se différencie des étendues méridionales plus continues car relevant de conditions plus zonales.

[203] Cf. les reconstitutions paléoclimatiques proposées par P. Rognon, *op. cit.*, 1990.

[204] Cf. les conclusions sur l'Atérien du Sahara oriental apportées par F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980.

[205] *Ibid.*

documents [206], on peut retenir les images littéraires qui servent à décrire le désert au cours de l'Antiquité romaine. Mais aussi les informations sur la vie quotidienne que fournissent les *ostraca*. Elles peuvent à l'occasion corriger les lieux communs véhiculés par une tradition écrite insuffisamment renouvelée [207]. La multiplication de ces entités territoriales a pour effet de changer la signification de la zonalité bioclimatique. De la sorte, en tenant compte de la sismicité et des dépôts d'origine anthropique, on peut concevoir certains aspects inattendus des paysages.

2.18.2 ÉTAPES DE LA MISE EN PLACE

Au Quaternaire et à l'Holocène, la géographie de ce secteur du Sahara repose en partie sur des données appelées à se modifier en fonction de la période considérée et de la transformation de l'environnement qu'elle implique ou que le fonctionnement du milieu retarde. Aussi, pour définir quelle a été la limite du désert, et comprendre la présence des bourgs antiques, les formations comme les modelés qui caractérisent la région de Douch permettent-ils par leurs âges différents de préciser une histoire naturelle qui n'aurait pas été toujours marquée par l'extrême aridité [208].

La différenciation morphostructurale entre le plateau et la dépression débute dès le Tertiaire, à partir de l'Oligocène (–37 MA à –23 MA).

Le karst du plateau est anté-quaternaire, essentiellement plio-quaternaire (–7 MA à –2 MA). La corrasion de sa surface s'est effectuée au cours du Quaternaire par rainuration des plans stratigraphiques et modelage de yardangs séparés par de méga-couloirs.

Le piémont détritique est quaternaire. Ses cônes-glacis ont dû se constituer entre le Quaternaire ancien et le Quaternaire récent. Les plus anciens ont été établis au cours du Pleistocène inférieur, à la même époque que les brèches de pente de Kharga. On peut rapporter à cette période pré-acheuléenne, selon la terminologie utilisée pour le Quaternaire dans le Sahara oriental [209], les dépôts chaotiques à la patine la plus sombre, les témoins démantelés et écroulés de la corniche du Naqb Douch et les vastes couvertures de glacis à surface sombre, situées en contrebas de la plus grande dénivellation qui domine les différents nappes détritiques du piémont (photo 16). Au Sahara central, ces dépôts sont également datés en partie de cette époque (Villafranchien). Le premier cône-glacis à patine plus claire et les suivants qui y sont emboîtés, se situent dans le

[206] Cf. les représentations gravées d'éléphant et de girafe retrouvées si au nord dans la dépression de Kharga, qu'elles ne peuvent être retenues comme preuve de la présence de ces animaux dans ces lieux. Elles sont signalées in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980. A. Muzzolini, « L'intensité des « humides » holocènes sahariens : estimations maximalistes et estimations modérées », *Archéologie africaine et sciences de la nature appliquées à l'archéologie, 1er symposium international d'archéologie africaine*, ACCT, CNRS, CRIAA, Bordeaux III, 1982, p. 53-69.

[207] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[208] Un exemple d'une description semblable pour une époque antérieure se trouve in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, Appendix 6 : C.V. Haynes, « Geological Evidence of Pluvial Climates in the Nabta Area of the Western Desert, Egypt », p. 353-371.

[209] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980. Voir également, J.A. Allan (éd.), *The Sahara, Ecological Change and Early Economic History*, Londres, 1981.

Paléolithique moyen. L'évolution n'est pas éloignée de celle qui est décrite le long de la côte nord-ouest de la mer Rouge [210].

Les nappes d'épandage étalées à la périphérie du piémont et dans la plaine de Douch correspondent aux mêmes périodes, hors les plus récentes cantonnées à la limite même du piémont. Leurs témoins comparés à ceux de la dépression de Kharga par analogie de faciès et de position topographique semblent tous se situer dans le Quaternaire moyen et récent, à partir de 0,4 MA. On peut pour la plaine reporter à cette période les nappes alluviales à la patine la plus sombre (N1) et la couverture aux éléments dissociés de silex laiteux qui jalonnent le fond désormais perché d'une ancienne plāya.

La période aride post-atérienne est révélée par la nappe de sable mauve à gris brun qui recouvre la plaine de Douch (équivalent de la nappe ogolienne pour le Sahara méridional ?), N2.

Pour l'Holocène et l'Actuel, à partir de −10000 ans, des épisodes plus humides (trois) doivent être retenus, entrecoupés par des périodes plus sèches et arides (trois également en y comprenant l'actuelle).

Ces dernières sont définies par les épandages de sable ocre (N3), les limons gris-olive accumulés jusqu'à l'Ancien Empire (N4), et les couvertures et *barkhanes* et dunes phytogéniques à sable jaune pâle subactuelles et actuelles (N5). À quoi il faut ajouter les éjecta des puits artésiens dont une des crues se situe au cours de l'Ancien Empire. L'affirmation de la sécheresse s'accompagne d'un abaissement des nappes phréatiques. La valeur du reflux pendant la période historique pourrait être de l'ordre d'une dizaine à une vingtaine de mètres, si on prend pour repère le profil des galeries drainantes. Par principe, en effet la rigole de leur drain est installée un peu en dessous du sommet de la nappe.

Les périodes humides sont prouvées par l'existence de pédogenèses (horizons de couleur rouge à rose pâle), et de dépôts lités argileux à lamines de sable ocre (playa), ainsi que par des dépôts chimiques peu étendus en relation avec de petites mares. Les éjecta des puits artésiens comme les croûtes, dont certaines peuvent être très récentes, confirment la réalité d'une humidité qui n'a pas forcément une signification zonale (sources artésiennes).

Sans doute faut-il ajouter deux épisodes plus humides à l'époque historique. Le premier, à l'époque gréco-romaine des puits et *qanawat*; bien que discuté, il semble réel à Tell-Douch, en relation avec des condensations nocturnes plus fréquentes dues à une hygrométrie plus forte. Le second plus tardif daterait de l'époque moderne (XVIIIe siècle). La durée de ces « anomalies » serait de quelques siècles.

Dans le paysage, les périodes humides se marquent par la constitution de sols, l'apparition de playa ou de mares et l'élaboration de dunes phytogéniques. L'environnement a pu être celui d'un couvert végétal constitué de buissons et d'arbres regroupés autour et près des points d'eau [211].

[210] P. Freytet, F. Balitzer, O. Conchon, « A Quaternary Piedmont on an Active Rift Margin: the Egyptian Coast of the NW Red Sea », *ZeitGeomorph* 37/2, 1993, p. 215-236.

[211] G. Roquet, « Avant le désert, savanes, véneries et caravanes. Réflexions sur une inscription d'Ancien Empire », *Mélanges Vercoutter*, Paris, 1985, p. 291-311. H.N. Barakat, N. Baum, *La végétation antique de Douch*, Douch II, *DFIFAO* XXVII, Le Caire, 1992. G.W. Murray, « The Egyptian Climate: an Historical Outline », *GeoJourn* 117, 1951, p. 422-434 (p. 433). Voir également la carte in E.S. Hills, *Arid Lands*, Londres, 1966-1969, fig. VII-3 qui montre les fluctuations de la distribution des précipitations entre 5500-2350 B.C. et l'Actuel ainsi que l'affirmation d'une longue période sèche ultérieure, excluant toute humidité à l'époque gréco-romaine (p. 137).

Pré-Quaternaire	Pleistocène		Holocène	
	ancien	moyen à récent	inférieur	supérieur à l'Actuel
Aplanissement	Cône-glacis démantelé	Cônes-glacis étagés à couvertures détritiques	Faciès des éruptions hydriques artésiennes	Nebkas
Karst				
	Écroulement	Lit d'oued	Nappes aréniques	*Barkhanes*
	Cône-glacis avec patine sombre	Éboulement	Playa	Nappes aréniques
		Talus détritique sur versant de raccord	Dunes	Croûte
		Dunes anciennes	Sols	Basse terrasse
			Encroûtement perché	Cônes de déjection
				Ejecta
				Croûte d'irrigation

TABLEAU 3. *Chronologie des formations superficielles.*

Les accumulations sableuses anciennes et récentes correspondent à des périodes sèches ou à des épisodes de forte aridité. L'abaissement de la nappe phréatique est si accentué que la ressource devient progressivement inexploitable par les moyens techniques de l'époque. Ces périodes sèches se signalent par la destruction des sols, le perchement des dépôts de playa et la constitution de nouveaux amas dunaires alimentés par les sédiments les plus fins des dépôts antérieurs. Les plus récentes de ces périodes sèches peuvent être repérées, entre autres, à l'époque de l'Ancien Empire, et à partir de la fin du Bas Empire (dunes à tessons).

La dynamique à l'origine des grandes unités géomorphologiques fut soumise à variation. On peut considérer que la dépression de Kharga appartient jusqu'au Quaternaire moyen à une zone à rythme climatique alterné hyperaride/semi-aride/subhumide. Inauguré au cours du Quaternaire inférieur, le creusement des roches tendres a exagéré le caractère aride de ce secteur. Si les régions proches de la frontière soudanaise montrent qu'au cours des périodes plus humides, le paysage ressemblait à celui d'une zone semi-aride à aride, il semble qu'au même moment la dépression de Kharga restait beaucoup plus sèche. Située au nord d'un secteur où prévalaient les pluies de la mousson africaine, la région appartenait à un domaine où les précipitations devenaient de plus en plus irrégulières.

Phases de période de type aride	Déflation éolienne	Hyperaride	Récent
	Pédogenèse incipiente	Subaride	Holocène et subactuel :
	Incision linéaire des épandages	Aride	Succession d'épisodes secs et plus humides
	Couverture détritique de glacis Épandages des plaines	Subaride	Tardiglaciaire
	Glacis planation	Subaride	Pleistocène final
	Désagrégation mécanique	Subaride	
Phases de période de type humide	Basse terrasse	Subhumide	Pleistocène
	Écoulement torrentiel		Période fraîche et pluviale
	Morphogenèse des pentes		
	Désagrégation mécanique	Subaride	
	Incision linéaire	Subhumide	
Phases de période de type aride	Déflation éolienne	Hyperaride	Pleistocène
	Couvertures détritiques des glacis	Aride	Période interpluviale sèche
	Glacis-planation	Subaride	

TABLEAU 4. *Déroulement des périodes et de leurs phases et séquences.*

Le rythme morphogénique s'explique à partir de périodes successives, subdivisées en phases qui elles-mêmes peuvent se diviser en épisodes. Chacune de ces subdivisions possède sa propre dynamique qui peut ne pas être identique d'une période à l'autre. De même, le passage de l'une à l'autre n'implique pas toujours une transformation brutale nettement enregistrée.

En effet, pour le modelé, la succession des épisodes humides et secs n'introduit pas de discontinuités bien définies (emboîtement de formes), qui pourraient avoir pour le milieu le sens d'un changement radical. Le passage d'une phase à l'autre se révèle à travers des formes aux limites de plus en plus diffuses et de plus en plus sensibles aux remaniements. De surcroît, l'artésianisme prolonge localement des situations favorables au maintien de la végétation comme de l'œkoumène. Alors que les conditions ne lui sont plus naturellement favorables, le paysage humanisé subsiste par l'artifice de la technique (puits, *qanawat* et forages). Bien que son environnement soit devenu celui d'un désert très accusé, l'aménagement se maintient tant que l'usage de l'eau est techniquement assuré.

2.19 LE PAYSAGE ET SA VALORISATION

Les unités géomorphologiques présentent des associations de formes et de formations superficielles qui ont été inégalement favorables à l'occupation humaine. Il s'agit pour chaque unité de considérer les traits qui la rendent exploitable ou habitable pour les occupants des sites. La mise en valeur a su par le biais de la technique utiliser les données du milieu, parfois au-delà de leurs propres contraintes. Ainsi peut-on dresser les caractéristiques éco-géographiques du territoire de Kysis.

2.19.1 LA HAMADA

Chacune des surfaces qui composent le plateau est karstifiée et les lapiés ont été biseautés par la corrasion éolienne et surchargés de ses rainures. Les chenaux de surface et les vallées en gorge sont nus ou ensablés et les conduits souterrains ont été recoupés par le recul des corniches. Ces formes sont héritées.

La corniche de l'entablement supérieur est entaillée par des vallons obséquents dont les thalwegs sont atténués par des cônes-glacis à la surface couverte de graviers éolisés et de sable fin en transit. Ces épandages légèrement incisés par un écoulement incipient atténuent la dépression orthoclinale. Leur limite aval est fossilisée par des dépôts ruisselés de fond de mare, réduits à l'état de buttes profilées.

La corniche de l'entablement inférieur est en voie de destruction par glissements ou éboulements successifs. Cette évolution en partie catastrophique a détruit les témoins d'un haut glacis lequel, en appartenant déjà au piémont, indique l'individualisation de la plaine.

Ces régions sont répulsives, faute de terre arable et de sources. Elles le furent moins à certains moments. Il semble qu'elles ont été parcourues par des éleveurs, pouvant à l'occasion se nourrir de graminées. On observe en effet sur les versants de vallées à grottes et abris sous roche, au sud du Naqb Douch, de multiples pistes faites par le passage de bêtes à sabot. À proximité, dans un col de flanc, on repère aussi des alignements de cailloux, barrages retenant un matériel détritique fin. Ce parcellaire a pu servir pour une agriculture de type pluvial.

2.19.2 LE PIÉMONT

Le piémont présente une topographie étagée. Sa dissection est générale et son ensablement fréquent. On y distingue plusieurs glacis emboîtés les uns dans les autres. Leurs vastes lanières à dépôts de couverture très grossiers sont des regs désertiques. Les glacis inférieurs convergent vers l'embayment de Baris. Leur terminaison s'ennoie sous les apports alluviaux des basses terrasses. Des cônes de déjection et des dépôts de crue récents encombrent les chenaux des oueds.

Des conditions locales semblables à celles attachées aux *tells* expliquent l'installation du parcellaire d'Aïn Boreq. Une faille permet des montées d'eau sous pression et l'affleurement du grès dégagé par érosion différentielle leur sert de roche-magasin.

Cependant les limons gris que traversent des cheminées d'accès aux galeries de drainage n'ont pas servi de terre arable. Une basse terrasse suffisamment plane et à matériel sableux suffisamment fin pour les champs a été utilisée. Le parcellaire semble avoir été réaménagé pour recevoir les équipements d'une irrigation par puits. Le site a été exploité pour sa source dès l'Ancien Empire.

Les prospections menées sporadiquement dans d'autres secteurs du piémont n'ont pas réussi, jusqu'à présent, à repérer d'autres aménagements de ce type. Jamais ne s'y retrouvent en effet réunies en totalité les conditions qui ont permis l'installation du parcellaire d'Aïn Boreq. Souvent, plus que la surface plane qu'offrent les basses terrasses, fait défaut la faille qui localise les venues d'eau artésiennes, ou le matériel suffisamment fin et arénique qui pourrait servir de terre arable. Cependant il se peut que dans d'autres vallées voisines de petites haltes puissent être retrouvées.

2.19.3 LES COLLINES

D'origine tectonique et à leur échelle, les collines présentent un modelé d'érosion différentielle que fossilisent les limons gris modelés en buttes profilées par le vent. Si, à leur pied, s'observent des faciès de playa, sur les crêtes, les placages dunaires superposés prédominent. Le sédiment présente les traces d'une pédogenèse, avec ses concrétions, sa structure prismatique, sa compaction et sa légère induration. Il est taillé par des ravines au débouché desquelles s'étalent des dépôts d'accumulation à la surface vannée par le vent.

Leur relief a fixé l'emplacement de hameaux (Aïn Ziyada, Aïn Manawir) et le site d'une bourgade (Kysis). Des failles ayant permis des venues d'eau, le limon gris de leur piémont a été le support recherché des terroirs. Mais face au vent, le risque est l'ensablement de leurs parcellaires, particulièrement au cours des épisodes de plus grande aridité. L'invasion par le sable des champs et des *qanawat* à tranchées découvertes pourrait être la cause de leur désaffection par l'homme.

2.19.4 LA PLAINE

Elle comprend des glacis à nu taillés dans le substrat tendre et, en dehors des limons gris, des formations superficielles suffisamment vannées pour être transformées, s'il le faut, en terre de culture.

Contenue dans une dénivellation de 5-6 m de haut, la topographie est graduellement caractérisée par des cuvettes hydroéoliennes et des chenaux incipients atténués par des colmatages de sable clair. Sur les interfluves ou les bas de pente se rencontre une multiplicité de revêtements détritiques : des nappes d'épandage arénique couvertes de graviers sombres, anciens cônes d'épandage alluviaux ; des concentrations d'éléments siliceux éolisés à l'aspect laiteux, formation résiduelle d'anciennes mares ; des bourrelets à couverture caillouteuse sombre, anciens chenaux d'oued en relief inversé ; des dépressions sinueuses à couverture caillouteuse claire, anciens chenaux nettoyés de leur fraction fine ; les nappes de sables grossiers roux à

méga-rides éoliennes fréquentes, dunes antérieures surbaissées ; des couvertures sableuses ocres à revêtement caillouteux clair à sombre, nappes d'épandage récentes ; des dépôts de gypse ou d'argiles indurées en relief inversé, fonds de sebkha ou de playa en cours de dégagement par la déflation éolienne ; enfin, des tertres de puits artésiens.

La plupart de ces couvertures détritiques permet l'existence de nappes d'eau superficielles et l'établissement de parcellaires. Les revêtements sableux ont été à l'origine de réserves captives et exploitables, comme semblent l'indiquer leurs parcellaires éloignés de tout point d'eau et dépourvus de conduits d'irrigation. Dans la plaine, les nebkas à buissons et palmiers et les tertres phytogéniques à tamarix sont installés sur des venues d'eau ou des chenaux d'oueds masqués par les sables. L'ancienne dissection de l'embayment, si les conditions du moment le permettent, favorise en effet l'existence d'inféroflux susceptibles d'alimenter des nappes phréatiques superficielles.

L'embayment est devenu le site principal de la colonisation agricole. Le limon gris y présente des figures qui trahissent des exfiltrations ou des montées d'eau de type artésien (polygonisation du matériel). Le prouvent les puits en cuvette et les puits avec tertre d'éjecta si présents à Dikura. Avec l'aide d'aqueducs à conduits qui accroissent le rayon d'action des puits artésiens, les parcellaires ont pu se déployer à la surface de la plaine assez loin des *tells*. Malgré un relief très irrégulier dû au dégagement de buttes profilées et de yardangs, ce dépôt reste le plus favorable à l'installation des jardins d'oasis et des parcellaires d'irrigation.

Les formations à pédogenèse incipiente (rubéfaction) se présentent comme une réserve de terre pour l'extension des parcellaires. Les placages de sable de venue récente ont en revanche un effet stérilisateur, si aucune défense n'est organisée contre leur progression.

Les sites les plus répulsifs restent les glacis dénudés. Ils ont fixé l'emplacement des nécropoles. De même, les croûtes de gypse définissent les zones les plus stériles à la marge des terroirs.

Les formations superficielles expliquent le paysage humanisé de Tell-Douch. Leurs qualités édaphiques ont permis d'utiliser au mieux l'eau destinée aux terroirs qui ont été la richesse de Kysis. On peut se demander si les sites connus sont les seuls. L'analyse des conditions retenues pour leur implantation permet de localiser des zones d'habitat ou d'implantation probables.

2.19.5 LES SITES ARCHÉOLOGIQUES POTENTIELS

Les sites archéologiques connus se localisent sur un versant de butte, à son piémont, dans la plaine ou le fond d'un oued. Des formations superficielles spécifiques sont nécessaires à l'aménagement de leurs terroirs. Elles sont principalement de nature limoneuse ou argileuse. Ces données incitent à rechercher les sites qui peuvent être aménagés de la même façon.

L'image de satellite aide à déterminer ces secteurs. Des classes qui définissent les formations superficielles cinq ont été retenues en raison de la possibilité qu'elles offrent de recéler des aménagements agricoles antiques (pl. III).

La classe (19) – limon gris – définit les lieux favorables aux installations hydrauliques du type *qanat*. Le limon atténué par des formations détritiques constitue au-dessus de la plaine une enveloppe en relief où se localisent les têtes des *qanawat* (secteurs à buttes profilées et yardangs).

La classe (9) représente le même limon en partie masqué par des nappes sableuses. Il s'agit de la classe liée aux parcellaires, au piémont des buttes, à la limite de la plaine. On constate que cette unité se trouve préférentiellement dans la zone des oasis de la dépression, le long de l'oued qui longe le flanc est du cordon de *barkhanes* nord-ouest, et au pied de l'escarpement à l'est du champ de *barkhanes* central, comme sur le versant méridional des collines granitiques du sud.

La classe (11) est la plus incertaine des classes d'occupation du sol. Elle présente les radiométries des terrains propices à l'installation des *qanawat*, mais des confusions sont possibles. Il n'en demeure pas moins que cette classe isole les secteurs propices à l'établissement d'un tel système d'irrigation. On trouve cette classe autour de Tell-Douch, sur le pourtour d'Aïn Manawir, sur le flanc ouest du champ de *barkhanes* sud, sur le versant des collines granitiques du sud et à l'est du champ de *barkhanes* sud-ouest.

La classe (3) localise les secteurs à encroûtements. À l'est de Tell-Douch, cette classe a une signification archéologique sans équivoque. Les croûtes salées représentent les parcelles séparées les unes des autres par leurs micro-levées et rigoles d'irrigation. Ces croûtes sont parfois en inversion de relief (est de Tell-Douch, base du versant à *qanawat* couronné par des yardangs). Extrapolée à l'ensemble de l'image, cette catégorie se localise préférentiellement dans les dépressions où s'étendent les oasis. On trouve aussi quelques croûtes au pied de l'escarpement et une importante concentration au niveau des collines granitiques du sud.

La classe (15) a été retenue car elle localise des éminences métriques sinueuses à la surface de la dépression de Douch. À forte connotation archéologique, ces bourrelets, parfois anciens chenaux en position d'inversion de relief, sont ici les digues de ceinture d'un terroir irrigué. Le bourrelet à l'est de Tell-Douch incurvé à son extrémité semble définir la limite aval de parcellaires antiques. D'autres bourrelets de ce type ont été observés au sud de Tell-Douch et sont allongés suivant une direction est-ouest. Enfin, d'autres possibles se situent à l'emplacement du champ central de *barkhanes*, sur le versant nord des collines granitiques méridionales, ainsi qu'à l'extrémité du cordon de *barkhanes* sud-ouest.

L'évaluation de l'extension des cinq classes montre que la classe (3) occupe 1,45 km^2 ; la classe (9) = 2,2 km^2 ; la classe (11) = 5,7 km^2 ; la classe (15) = 0,74 km^2 et la classe (19) = 0,04 km^2. Le limon gris affleure à nu sur une superficie très restreinte.

La spatiocarte de prospection des sites archéologiques (pl. III) de la dépression de Douch reste incomplète en raison de l'ennoyage de la topographie ancienne. On pourrait retrouver cette topographie en utilisant l'imagerie radar ERS1 qui s'affranchit des formations meubles et sèches pour donner un écho du substrat. Associée à la carte des formations superficielles, l'image radar permettrait d'estimer l'épaisseur de l'accumulation sableuse, ainsi que la distribution des micro-reliefs masqués, chenaux ou ravins favorables à l'établissement des inféroflux. Une telle localisation serait utile pour rechercher les sites des périodes les plus anciennes de l'occupation (Ancien Empire et Néolithique). Un second intérêt est qu'elle permettrait de mieux saisir les étapes de la mise en place du paysage et de son modelé.

2.20 LA PLACE DE L'EAU

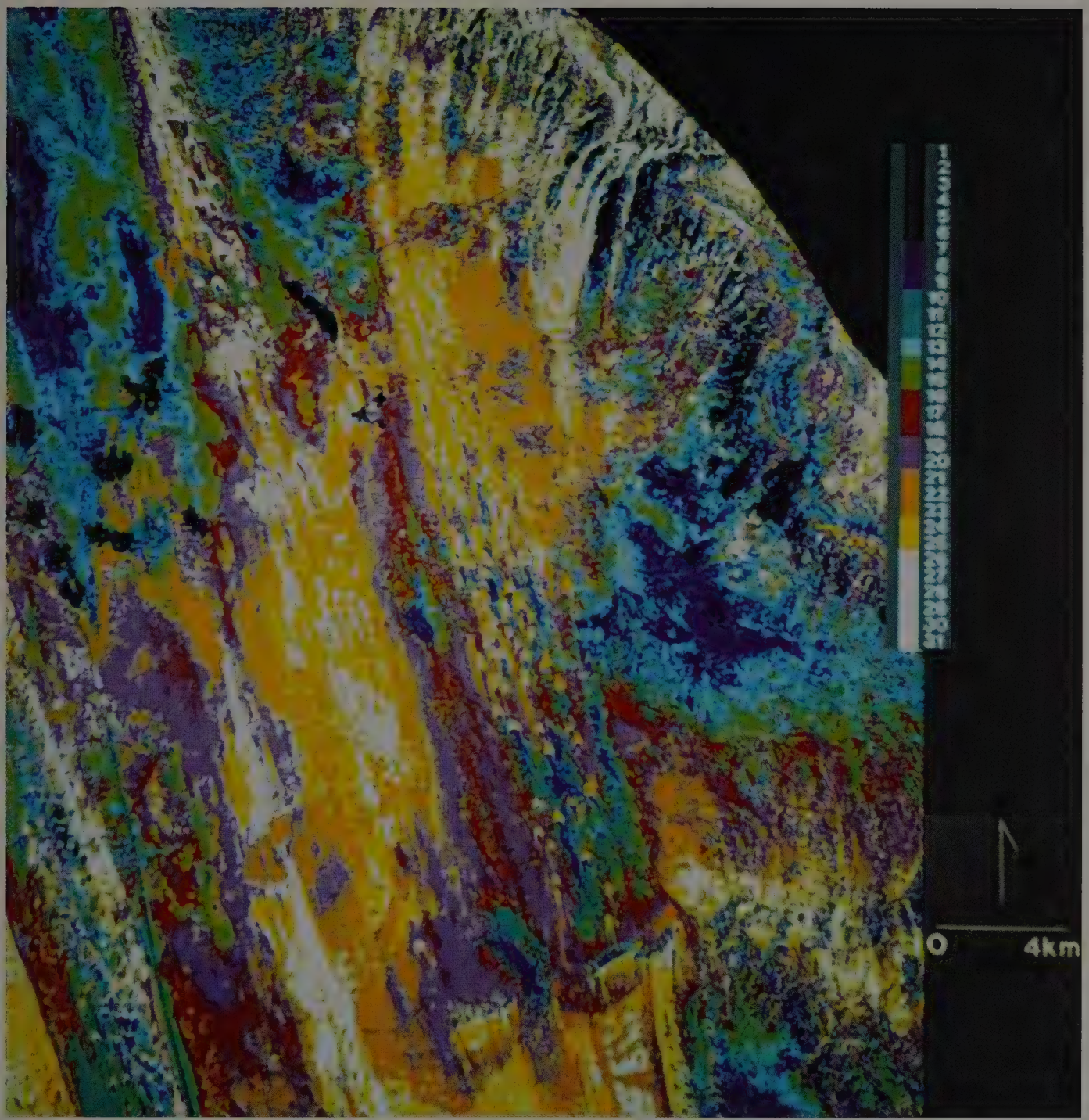
L'eau n'est plus présente dans le paysage comme au temps de Kysis. Les *qanawat* sont à sec, les puits taris, les sols desséchés. La multiplicité des sites équipés d'ouvrages indique qu'au début de notre ère les nappes étaient plus abondantes. L'épaisseur des sols constituait un réservoir suffisant pour l'irrigation. Les oasis devaient leur extension à l'exploitation efficace de la ressource par les *qanawat*.

L'abandon des terroirs révèle une transformation des conditions favorables du milieu. La question est de comprendre la raison de cette modification.

Les équipements sont-ils en cause ou les conditions naturelles ? Et sinon, dans ce dernier cas, le risque fut-il installé au sein du territoire humanisé par le réseau des galeries ?

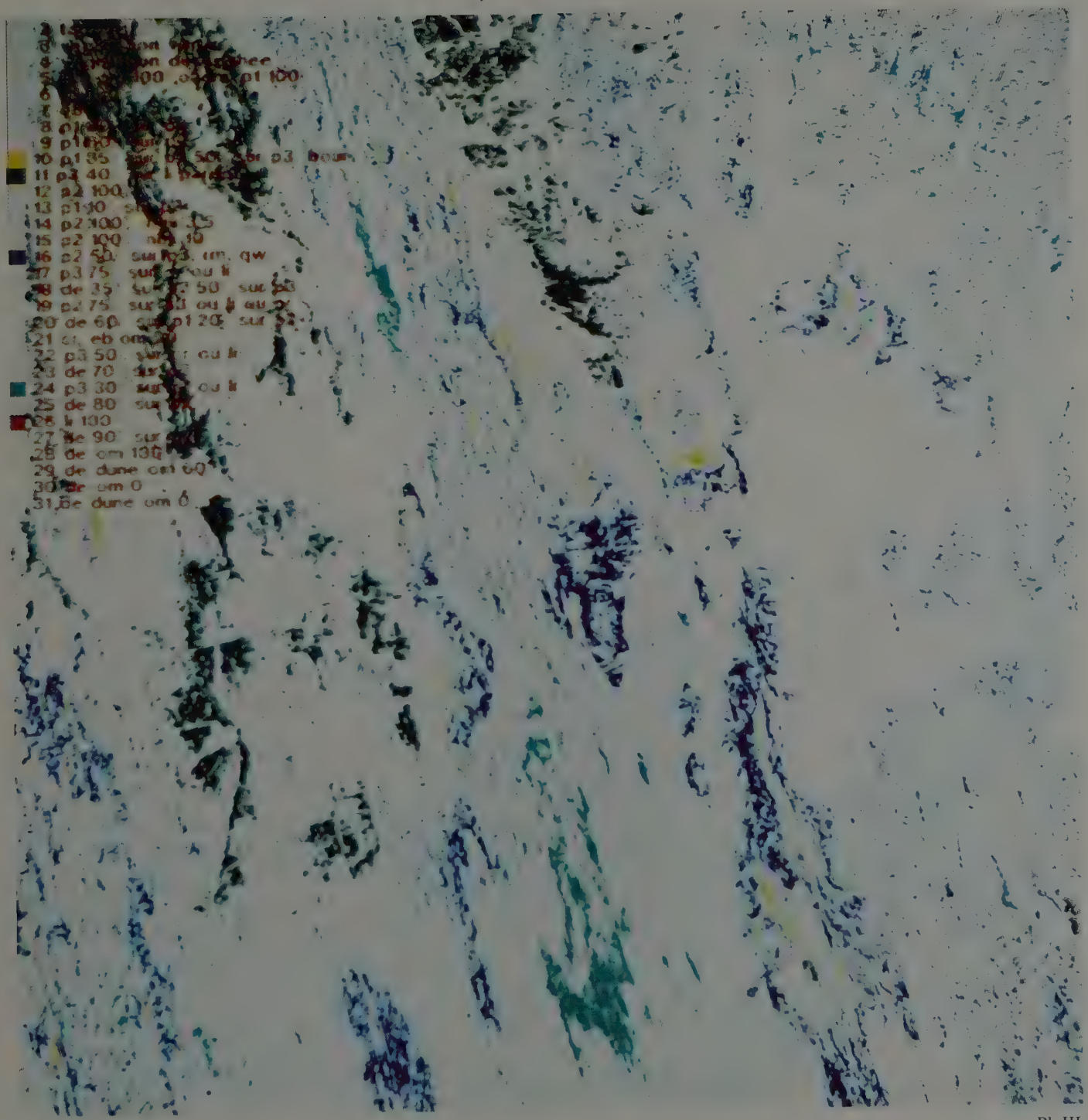
Le changement de comportement qui transforma les conditions de la mise en valeur, ne modifia-t-il pas insidieusement la durée d'exploitation qui leur était attachée ? Ce changement, qui valorisa la ressource au détriment du sol, n'a-t-il pas en effet conduit à ruiner le paysage de l'œkoumène et à faciliter sa désertisation ? Au fur et à mesure que les sites associaient des équipements de plus en plus nombreux et de plus en plus divers, l'eau ne passa-t-elle pas alors avant la terre ? Paradoxalement, l'eau n'a-t-elle pas pris trop de place au détriment du sol, soulignant cette fois une modification du comportement des oasiens ?

Les ouvrages hydrauliques en permettant d'outrepasser des contraintes qu'ils rendaient du même coup acceptables, autorisèrent à aller au delà des limites qu'elles avaient imposées. La maîtrise de l'eau est certes à l'origine de l'organisation du paysage humanisé, mais sans doute aussi de son abandon.



Pl. I. *Classification des formes et formations superficielles. Égypte – dépression de Kharga – Secteur de Douch.*

Pl. II. *Classification supervisée des formations superficielles de la Plaine de Douch.*



Pl. III

TROISIÈME PARTIE

LE PAYSAGE HUMANISÉ DE LA RÉGION DE TELL-DOUCH ET LA MAÎTRISE DE L'EAU

DÉSOLÉS de nos jours, les sites autour de Douch ont été autrefois occupés. Plus qu'aujourd'hui, leur paysage présentait de nombreux lieux d'ombrages. L'eau donnait aux oasis cet attrait [212], si souvent célébré par le voyageur dans l'Antiquité.

3.1 PRINCIPES ET MÉTHODES APPLIQUÉS À L'ÉTUDE DU PAYSAGE HUMANISÉ

Le paysage humanisé de Kysis s'adapta aux données du milieu naturel. Depuis leur fondation jusqu'à leur déshérence, l'existence des sites s'explique par l'habileté ou non des habitants à maîtriser l'eau si nécessaire à leur survie. L'environnement fournit une matière première disparate. Son origine et ses modes de gisement ont organisé son exploitation minière. D'extraction artésienne, la ressource associe aux conditions structurales l'eau fossile des périodes pluviales du Quaternaire et de l'Holocène. Elle est un héritage. Les puits et leur tarissement s'y rapportent. D'origine météorique, son drainage attaché à la mobilité climatique récente, holocène et historique, commande les fluctuations du couvert végétal et le déploiement extensif des parcellaires. Il est un avantage. Les *qanawat* et leur abandon s'y réfèrent. La défection progressive de la ressource rend compte de l'abandon définitif de la contrée au Ve siècle.

Mais cet élément qui se renouvelle au cours du temps à un rythme irrégulier, se montre inégalement disponible ou accessible pour la société du moment. En effet, le paysage aménagé est fonction d'une double contingence d'ordre anthropique. La première est liée à la capacité technique d'une société à pouvoir transformer les ressources de son environnement en richesses d'œkoumène. La vigne réputée des oasis le prouve [213]. La seconde dépend de l'aptitude de cette société à utiliser le milieu, en fonction de ses pratiques juridiques ou

[212] G. Wagner, *Les oasis d'Égypte à l'époque grecque, romaine et byzantine*, *op. cit.*, Le Caire, 1987.
[213] *Ibid.*

administratives et de ses instances de pouvoir. Les *ostraca* le montrent. Ainsi le maintien des équipements et de l'aménagement qu'ils suscitent témoigne-t-il de la capacité du groupe à entretenir un cadre de vie, considéré tantôt ingrat jusqu'à en devenir hostile et favorable à la relégation [214], tantôt accueillant jusqu'à passer pour édénique et propice à l'implantation d'une toparchie [215].

En conséquence, le paysage, expression de l'état du milieu naturel devient, une fois aménagé, un lieu d'intérêts et de menaces, de gains et de pertes pour l'occupant. Les avantages proposés par le milieu relèvent des ressources écologiques, celles de la biocénose et du biotope, les plantes, le sol et les réserves hydrologiques. Les gains pour l'agriculture dépendent des variations bioclimatiques positives qui l'affectent. Les dangers, ceux de l'écotope, sont introduits par l'environnement désertique que caractérisent la sécheresse du sol, la déflation éolienne et l'ensablement de la dépression. Ils rendent l'irrigation nécessaire. Leurs préjudices sont dus aux effets d'une progression de l'aridité que veut combattre la multiplication des installations hydrauliques. Liée à l'occupation dense des sites, la désertification de la contrée résulta du développement des terroirs et de la croissance des agglomérations.

L'évaluation de ces caractères bénéfiques ou défavorables, de ces dangers de nature que l'homme transforme en risques pour son œkoumène, s'appuie sur l'extension des terroirs. Parmi les parcellaires, l'un de type culturel est le jardin ou le verger clos d'oasis ; l'autre de type rationalisé est le périmètre d'irrigation, à quoi s'associent les équipements hydrauliques, les puits et les *qanawat* destinés à permettre le maintien des terroirs. Aussi l'irrigation, appréhendée autant à travers ses progrès techniques orientés vers une utilisation et une maîtrise efficaces de la ressource que dans sa pratique juridique visant les extensions du foncier, les limites et les formes de la mise en valeur ou les ententes entre propriétaires et usagers de l'eau, y est-elle nécessairement incluse sous son aspect de système technique capable de modifier le paysage et le fonctionnement du milieu.

La compréhension de cette agriculture irriguée, pratiquée pendant la période romaine, s'efforce ainsi d'associer aux données écologiques et économiques les caractéristiques géographiques des lieux. Le repérage des points d'eau, la découverte de leurs vestiges archéologiques et parfois leur fouille, comme la méthode du balayage (photo 7) et du décapage, pratiqués à la surface des parcellaires ou le long du tracé des *qanawat* kysites, à Tell-Douch et dans les sites voisins, Aïn Manawir, Aïn Ziyada, Aïn Boreq et Dikura, y contribuent. L'analyse des végétaux retrouvés dans les tombes de la nécropole de Kysis [216] et la détermination des macro-restes ou des pollens recueillis sur les parcelles précisent l'environnement. Les résultats que fournissent les études de la documentation papyrologique et épigraphique leur sont également associés [217]. Les anciens usages ainsi retrouvés peuvent être comparés à d'identiques bien antérieurs comme le prouvent leurs très anciennes

[214] Cf. les *ostraca* qui montrent la détresse de certains habitants, qui réclament pour survivre des dattes (renseignement oral de Guy Wagner).

[215] Cf. le vocable de bon port attribué à l'oasis de Kysis.

[216] Fr. Dunand *et al.*, *La nécropole de Douch*, Douch II, Le Caire, IFAO, 1992, en particulier, cf. H. Barakat, « La flore », p. 259-260. H.N. Barakat, N. Baum, *op. cit.*, 1992. A. Emery-Barbier, « L'homme et l'environnement en Égypte durant la période prédynastique », *Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape*, Balkema, Rotterdam, 1990, p. 319-326. F.A. Hassan, « Desert Environment and Origins of Agriculture in Egypt » *NAR* 19, n° 2, 1986, p. 63-76.

[217] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

représentations [218], à leurs contemporains pratiqués dans les autres sites de la dépression de Kharga, comme à Aïn Labakha et à Umm al-Dabadib, et, encore, par analogie, à ceux d'aujourd'hui en vigueur dans les oasis. L'échelle de temps choisie est donc celle de la longue durée culturelle. Les informations livrées par les *ostraca* de Tell-Douch sur les décomptes du temps d'irrigation y encouragent [219].

Ces données, relatives d'abord aux installations hydrauliques, puis aux parcellaires, permettent de présenter, regroupées dans une sorte de système éco-géographique, les caractéristiques générales de l'agriculture pratiquée à Kysis et de préciser son degré d'élaboration par rapport à celle d'un niveau similaire réalisée dans les régions semi-arides [220]. À l'échelle de la parcelle, il devient possible de concevoir l'évolution du couvert végétal des champs dans l'instant des cultures ainsi que la variété des modes du travail agricole. S'élevant à l'échelle plus petite de la contrée, on peut ensuite caractériser le finage formé par les terroirs et leurs alentours, comme préciser son organisation ainsi que la place de l'eau, du bétail et des arbres au sein de cet aménagement. Enfin il s'agit de définir l'écogéographie de la région par l'économie qui la caractérise, et par le système qui lie l'eau, les plantes, le sol et les techniques d'irrigation. On en conclut que l'activité agricole menée à Kysis a les caractères d'une réelle agriculture, puisqu'elle se montre capable de poursuivre des objectifs multiples.

On peut en conséquence déterminer le milieu du moment, les dangers climatiques et biologiques qu'il pouvait présenter ainsi que les moyens de défense et les parades conçus par les oasiens, comme le suggèrent les plantes récoltées qui ne peuvent être dissociées du micro-modelé élaboré à la surface des parcelles.

Enfin vouloir connaître pourquoi certaines de ces oasis ont été abandonnées au terme de plus d'un demi-millénaire d'exploitation revient à s'interroger sur l'importance de deux facteurs. D'une part, que furent le rôle des puits en tant que technique d'irrigation permanente et, surtout, celui des *qanawat* en tant que technique nouvelle ? D'autre part, quels effets entraîna la mobilité des facteurs qui définissent les états de l'écosystème, qui changent les conditions du milieu, et qui, à l'intérieur du géosystème, expliquent le niveau d'intégration spatiale de ces contrées isolées, culturellement comparées à des îles. Enfin, quelles ont été les forces capables de dissocier les éléments à l'origine des oasis et leur abandon eut-il lieu partout au même moment [221] ?

[218] Cf. scènes d'agriculture irriguée dans la tombe thébaine n° 1 à Deir al-Medina appartenant à Sennedjem, du règne de Séti Ier ; moisson du blé, V^e^ dynastie, Saqqara, tombe de Ti, n° 60 ; modèle réduit de grenier à grain, Moyen Empire, British Museum n° 41573 ; Thèbes, plan d'une maison de l'Égypte ancienne et de son jardin ; Deir al-Medina, tombeau du sculpteur Apny à Thèbes, XIIe siècle av. J.-C. : arrosage d'un jardin au moyen d'un chadouf, Staatliche Museen, Berlin, Ägyptisches Museum ; tombe de Khaemouaset, Thèbes XIIe siècle av. J.-C. : vendange, foulage et stockage du raisin, Staatliche Museen, Berlin, Ägyptisches Museum.

[219] Pour comparaison on peut lire de P. Trousset, « Les oasis présahariennes dans l'Antiquité : Partage de l'eau et division du temps », *AntAfr* 22, 1986, p. 163-193.

[220] H. Dupriez, Ph. de Leener, *Agriculture tropicale en milieu paysan africain*, Paris, 1987. J.L. Chleq, H. Dupriez, *Métiers de l'eau du sahel. Eau et terres en fuite*, Paris, 1986. H. Dupriez, Ph. de Leener, *Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage*, Paris, 1990.

[221] Question que se pose également P. Gentelle, « Une géographie du mouvement : le désert du Taklamatan et ses environs comme modèle », *AnGéo* 567, 1992, p. 552-594.

3.2 LE SYSTÈME HYDRAULIQUE

Le développement d'une agriculture irriguée dans l'Antiquité est suggéré dans la région de Douch par la présence concomitante de parcellaires et d'installations hydrauliques retrouvés isolés hors des sites (Dikura, photo 11, Aïn Boreq, photo 12, Douch sud, photo 7). La preuve de leur association fonctionnelle fut apportée lorsque, par la fouille de ces vestiges, a été matérialisé l'enchaînement des différentes actions à l'origine de l'irrigation : le captage de l'eau, son stockage, son cheminement hors du périmètre arrosé, sa distribution à l'intérieur des parcellaires avec pour terme l'arrosement des parcelles, selon des modes différents [222].

La reconnaissance de ces installations a montré que l'utilisation de l'eau est destinée à de multiples usages. Cette diversité permet de parler d'un système hydraulique à l'intérieur duquel les installations pour l'usage agricole restent prépondérantes, pour ne pas dire exclusives. En outre, l'agriculture irriguée pratiquée à Kysis par des paysans sédentaires au sein d'un désert chaud s'appuie sur un cheminement de l'eau parfois très original, comparé à celui de la vallée du Nil, comme le signale Giuseppe Ungaretti [223] :

« Les Romains, ayant introduit sous les palmiers l'agriculture intensive, durent exécuter des travaux de maçonnerie qui étonnent encore de nos jours les hydrauliciens : captant et canalisant dans des labyrinthes de taupes, avec une habileté de chirurgiens, les sources éparses dues à des infiltrations d'eau de pluie, qui se trouvent en certains points à plus de dix mètres de profondeur. »

3.3 LES CARACTÉRISTIQUES DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES

La prospection du terrain montre que le système de l'irrigation se différencie en plusieurs types, en fonction de quatre modes d'extraction de l'eau. Chacun de ces modes peut être défini par une installation particulière, la source artésienne devenue puits, la citerne, la saignée de captage et la galerie de drainage, dite *qanat*. Chacun d'entre eux assure d'une façon plus ou moins complète les actions qui conduisent à l'arrosement des parcellaires, depuis le captage, site du point d'eau, jusqu'à la distribution dans les champs, en passant par le drainage, et parfois le stockage. Chaque action est architectoniquement caractérisée et peut être matériellement localisée dans l'espace à partir du zonage qui en résulte et qui se montre si utile pour la prospection. Par exemple, le cheminement aérien de l'eau vers les parcellaires se fait par l'intermédiaire de l'hydragogue. Lui-même revêt des aspects différents, de l'aqueduc construit jusqu'à la simple rainure creusée dans le substrat. Il est surtout présent sur le piémont qui assure le passage de la butte réservoir à la plaine, lieu principal de l'établissement des parcellaires.

[222] J.-H. Durand, *Les sols irrigables*, Paris, 1983, chap. III, « Distribution de l'eau d'irrigation et effets sur le sol », p. 179-199.

[223] G. Ungarretti, *À partir du désert*, Paris, Le Seuil, 1965, p. 48, traduction française de *Il deserto e dopo*, Milan, 1961.

TABLEAU 5. *Les types d'ouvrages.*

Ouvrage évolutif.	**Ouvrage homogène.**	**Ouvrage complexe par transformation morphologique.**	**Ouvrage hybride.**
	Puits.		Puits-*qanat*.
Qanat à branches affluentes.	*Qanat* de type iranien.	*Qanat* de type kysite : – évolution d'ordre culturel – évolution d'ordre mésologique.	*Qanat*-puits.

Une installation peut être dite homogène lorsqu'elle correspond uniquement à un des modes d'extraction reconnus, comme le puits artésien. Mais elle peut alterner sur son parcours les caractéristiques morphologiques d'au moins trois des quatre modes, par exemple le *qanat* qui, à la galerie à regards, associe la tranchée, à l'air libre ou couverte, et pour ce dernier cas avec regards ou non. Elle est alors considérée comme disparate. Face à cet assemblage hétérogène, on peut se demander si ce mélange architectonique complexe fut intentionnel, ou s'il ne résulte pas d'une évolution progressive, au cours d'un laps de temps dont on apprécie mal la durée. En effet, l'évolution qui aboutit à cette association des modes en un seul individu, fut-elle réalisée par étapes, au cours d'une seule période d'utilisation, ou bien le fut-elle progressivement au cours d'une histoire plus longue, mais à périodes discontinues, et, dans ce cas, pour quelles conditions de l'environnement ?

Par l'addition de deux types, la complexité de l'installation peut aller jusqu'à ne plus former qu'un système fonctionnel, le puits-*qanat* ou le *qanat*-puits (Dikura). Cette installation hybride devient un équipement dont l'évolution ne s'est pas pliée au schéma de la croissance du mode unique par ramification. En effet, le branchement de galeries secondaires sur une galerie principale institue un schéma autre qu'on trouve également (Dikura), et qui est connu ailleurs [224]. L'installation est alors plutôt dite évolutive.

On observe ainsi une multiplicité de types qui va de l'équipement homogène, pour lequel la croissance s'est faite selon un mode uniforme, à l'installation complexe, disparate par transformation morphologique ou par hybridation fonctionnelle. Il reste que toutes les installations sont alimentées par une eau qui circule le plus souvent sous pression à l'intérieur du substrat lithologique. Ce phénomène naturel dont rendent compte les conditions structurales locales [225], conduit à la source artésienne, éruptive ou non, appelée à devenir la bouche des puits, et aux nappes perchées, artésiennes ou non, que captent les galeries souterraines. On ne peut en effet rejeter la possibilité d'une alimentation vadose par gravité qui pose la question de la modification des conditions naturelles, au cours de l'occupation des sites. L'infiltration concurrence alors l'ascension dynamique de l'eau.

[224] N. Marouf, *Lecture de l'espace oasien*, Paris, 1980, p. 103.
[225] Cf. la 1re partie, et en particulier ses conclusions.

Le système hydraulique comprend ainsi les points d'eau naturels, à l'origine de l'écoulement et de son régime, et des équipements plus élaborés, à l'origine du débit et de sa division dans les parcelles (fig. 24). Les ouvrages hydrauliques qui utilisent les venues d'eau artésiennes organisent une technique particulière de captage et de drainage des nappes phréatiques [226].

3.4 LES SOURCES ARTÉSIENNES NATURELLES

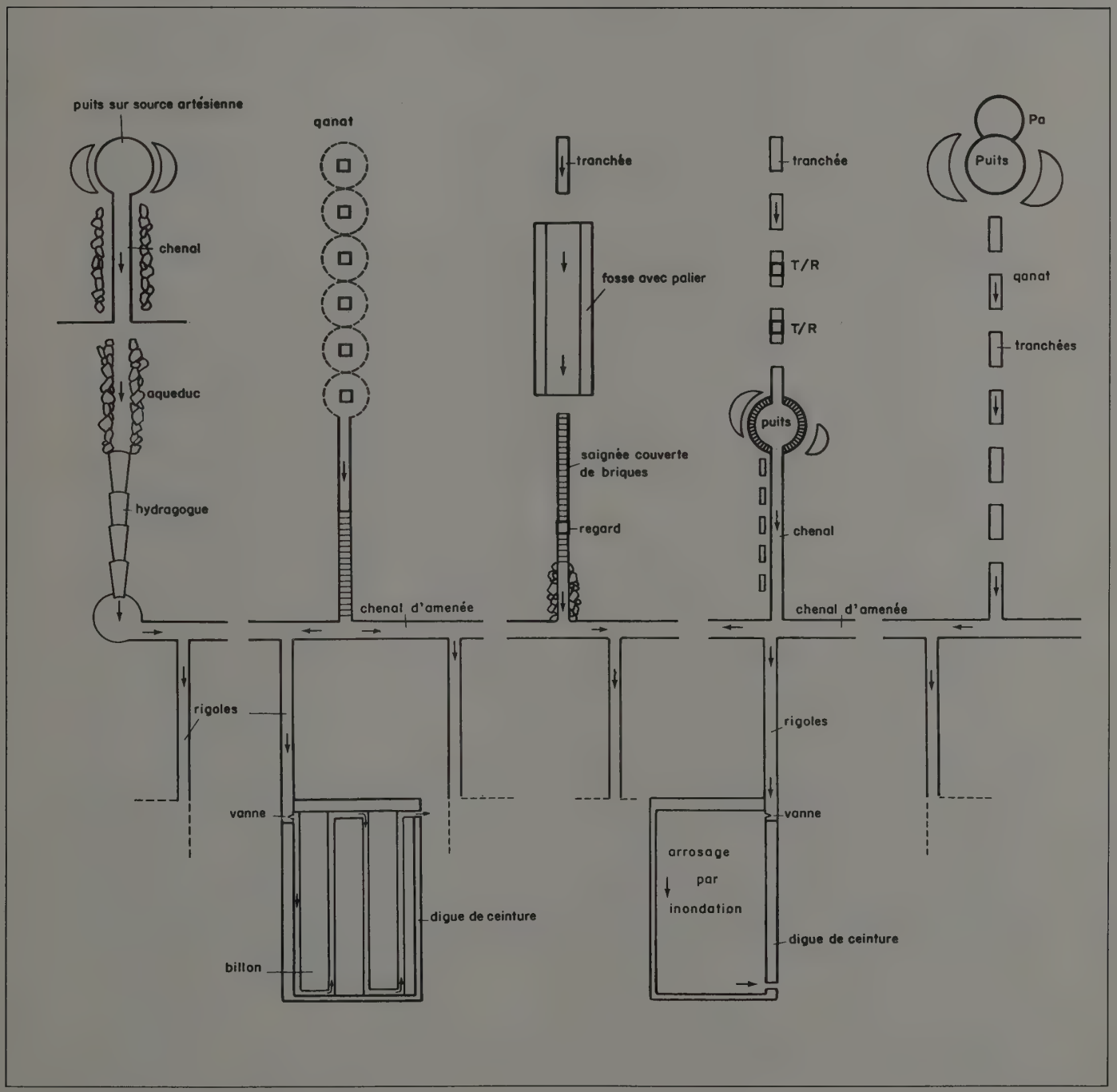
Ces sources sont à l'origine des puits qui ont permis l'irrigation. Les exemples les plus nombreux se localisent à Dikura, véritable conservatoire de formes les plus diverses et les mieux préservées dans leur état originel. Au même degré de conservation, elles sont présentes aussi à Aïn Boreq. Dans les autres sites, elles subsistent en plus petit nombre, car elles ont été le plus souvent modifiées en puits ou incorporées au tracé des *qanawat* (Tell-Douch est, Aïn Manawir, Aïn Ziyada sud et nord). Le fait qu'elles aient subsisté en leur état peut signifier que les plus hautes, présentes sur les revers, étaient inactives, taries, déjà mortes à l'époque de Kysis, à la différence de celles, actives, situées alors en plaine ou au pied des collines. Actuellement, aucune source artésienne active n'existe plus dans cette contrée à la différence de la région de Kharga ou de l'oasis de Dakhla.

Leur localisation est étroitement liée au décrochement du Wadi al-Abd. Leur emplacement se situe au droit des accidents qui délimitent et découpent les reliefs, ou au point de leur intersection avec l'accident principal. Aussi les trouve-t-on à leur périmètre et sur leurs pentes, alignées sur une bande de broyage (Tell-Douch) ou regroupées en réseau dont le dessin géométrique est commandé par le dispositif tectonique des fractures (Dikura sud). Comme le substratum schisteux paraît rarement sous son faciès informe (Aïn Ziyada nord), les autres indices de l'activité artésienne, un modelé avec des faciès colorés d'accompagnement et une fissuration profonde du matériel encaissant, ont été essentiellement enregistrés par les dépôts de limon gris qui enveloppent le relief des collines.

L'activité artésienne y est en effet caractérisée par des figures rondes (photo 61, 62) dont le diamètre varie entre le mètre, rarement moins, et la quinzaine de mètres, rarement plus (Dikura sud-ouest et nord). Ces figures qui accompagnent les points d'émergence, se diversifient, semble-t-il, selon l'énergie de la montée artésienne. L'une, qu'on pourrait appeler atténuée, diffuse l'eau en imbibant intensément le matériel (photo 63). Deux formes liées à ce mode discret de propagation affectent alors le limon à sa surface. Des boursouflures se réalisent au droit de l'arrivée liquide ; des fissures radiales béantes découpent ces coupoles. Ou des bassins peu profonds s'y déprime ; des fissures concentriques liées à du tassement se superposent au réseau polygonal des fentes de dessiccation qu'elles déforment. En revanche, par sa force, l'autre type d'écoulement, dit actif, provoque l'apparition d'une morphogenèse particulière. Des formes d'érosion mécanique auxquelles s'associent des accumulations éoliennes et des

[226] La description des ouvrages, en particulier pour les *qanawat*, se fait toujours de l'amont vers l'aval. Les regards sont notés () avec leur numéro d'ordre et les dimensions de leurs ouvertures (L × l en m). Parfois la hauteur qui peut équivaloir à une profondeur (h en m) est indiquée, si un sondage a pu être effectué.

FIG. 24. *Les différents types d'installations hydrauliques.*



remaniements de limons liquéfiés la définissent (photo 64). En profondeur (7 m), les parois de la citerne-escalier (Dikura nord) ont recoupé le contact entre les limons et le substrat à la hauteur d'une faille qui oppose les grès aux schistes. Des blocs de grès gros comme le poing se retrouvent dans le conduit, alors que les schistes sont ravinés par le ramonage ascensionnel de l'eau. On peut ainsi définir autour du conduit une gaine de remaniement mécanique aux parois sinueuses. Parfois ce faciès affleure, défini en surface par un relief à matériel en vrac dans une matrice argilo-sableuse. Ces dykes étroits ou culots éruptifs ont été parfois dégagés par érosion différentielle (Dikura ouest et est, fig. 20). Ils confirment la violence de ces éruptions hydriques, expérimentée au risque de leur vie par les puisatiers chargés de la mise en eau d'un puits, au terme de son forage.

En surface, l'exutoire d'un puits naturel est repérable à son évent circulaire (photos 64, 65) situé à l'intérieur d'un cône bas, dont le centre est un cratère, compris comme le stade succédant à celui de la boursouflure. Élevée de moins d'un mètre, cette forme est la plus fréquente. Un dôme évidé, haut de 3-4 m, et parfois perché (Dikura nord-est) représente une autre forme plus construite (photo 66). Des placages sableux se sont amassés et moulés sur les contours du cône et le surélèvent. Un horizon violet matérialise le contact entre le socle limoneux et ces apports aux allures de chicots ruiniformes, car découpés par des fentes de dessiccation, (Dikura nord-est). Il faut les interpréter comme des dunes d'obstacle, qui ont elles-mêmes été humidifiées par leur base, puis consolidées. À l'opposé, se situent les dépressions profondes de moins de deux mètres [227]. Elles s'organisent en fonction d'un orifice aujourd'hui ensablé (2 m au plus de diamètre), parfois dédoublé par migration de la bouche, et comparable à un bassin de source à fleur de sol (Dikura est). Des monticules de sable peuvent les border latéralement (Dikura sud, photo 64). Ils supposent que le bassin de source fut colonisé par des plantes qui piégèrent le matériel apporté par le vent. Seuls subsistent les flèches construites à l'arrière de l'obstacle que prouvent à l'amont les restes conservés d'un horizon raciné. D'autres types présentent une série de bourrelets bas et apposés les uns aux autres, ou une succession d'assises de limon empilées concentriquement (photo 67) qui sont autant d'apports emboîtés comblant progressivement le cratère de l'évent. Des niveaux de calcination se retrouvent parfois, la végétation ayant été consumée par des feux spontanés dus à des émanations sans doute de méthane (photos 65, 67, 68). Enfin on retrouve parfois un semis de petites concrétions de sable cimenté qui résultent de la destruction d'un horizon d'accumulation pédologique, comme on peut encore en voir en place dans les dunes fossiles de Tell-Douch ouest. Sa constitution annoncerait le tarissement du puits. Et sa destruction résulterait de la déflation éolienne par accentuation de l'aridité. Ces traits pédologiques indiquent que les venues artésiennes permettaient le développement sur un rayon plus ou moins vaste d'un couvert végétal steppique dont il reste un exemple de plants buissonnants fossilisés au sommet de Tell-Douch ouest (photo 59). Ces indices démontrent l'existence d'un paysage désertique coupé de points d'eau que signale un couvert végétal différencié en espèces steppiques et en plantes hygrophiles implantées dans les bassins des sources.

[227] Des formes semblables sont décrites in F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, cf. phot. p. 20 et p. 32; faciès phytogénique, p. 28 et plus particulièrement le chap. 4 pour la fouille de puits artésiens de l'oasis de Dakhla et de la région de Kharga, p. 167-203.

D'autres formes illustrent la dynamique que déclenchait la très forte humidification du matériel qui pouvait aller jusqu'à permettre sa liquéfaction. Des coulées sablo-limoneuses ébrèchent des cônes (Dikura est, photo 69) ; des nappes de matériel liquéfié, aux lobes liés à des épisodes de débordement ou de crue, se superposent jusqu'à constituer un cône plat (Dikura sud). Des dépôts composent un faciès à feuillets irréguliers. Ces éjecta de limon remaniés en mottes plates résultent de projections à la suite d'éruptions plus fortes (Dikura sud et est). En revanche, l'égueulement possible des bourrelets est à mettre au compte de la déflation éolienne, après leur assèchement (Dikura sud).

La fissuration des limons éoliens et leur coloration diversifiée en auréoles concentriques, larges de moins d'un demi-mètre, accompagnent cette morphogenèse et l'affectent même. Les fentes de dessiccation traversent les limons gris, plus rarement les nappes de sable déposées à leur sommet, différence qui souligne ainsi une nette modification de l'état édaphique, sans doute en relation avec une transformation bioclimatique du milieu. Elles se disposent selon un maillage en grands polygones, rarement subdivisés intérieurement (revers de Dikura), ou selon une trame de grandes fissures parallèles à la pente et recoupées par d'autres perpendiculaires (Dikura nord, photo 31). Ces fissures largement béantes, jusqu'à 5 cm, qui peuvent ailleurs signaler des fonds asséchés de playa [228], découpent ici des dépôts sur pente. Elles procèdent de l'assèchement d'un matériel qui, largement hors de portée de l'action hydrogéologique des sources artésiennes, fut intensément humidifié en épaisseur et en étendue. Les tavelures ocre-rouge et vertes qui colorent le limon (Tell-Douch ouest et sud, Aïn Ziyada sud, etc) dérivent d'une évolution pédologique. Elles relèvent de la dynamique d'une frange capillaire, dans un pseudo-gley révélant un milieu ponctuellement engorgé, en ambiance de climat à saison sèche [229].

Autour des évents, en plan, se disposent, souvent du centre vers la périphérie, d'abord, par emboîtement, une bande blanche de sable limoneux aggloméré et induré par des sels ou des poussières carbonatées, puis, en passage latéral de l'une à l'autre, une auréole verte d'hydromorphie par imbibition permanente, et, au delà de la limite de cette zone, des bandes ocre-rouge ou noires, teintes par le fer et le manganèse, en raison d'une humectation épisodique, (Dikura sud et Aïn Boreq). Des tiges de plantes hydrophiles peuvent s'y observer en position de vie (Dikura est).

Une coupe (Dikura sud) a montré en profondeur la superposition de ces mêmes niveaux de coloration. Géométriquement, la figure s'interprète en fonction de la construction de cônes successifs fossilisés par les apports limoneux (fig. 21). La disposition obéit à une dynamique au rythme irrégulier, constituée de périodes d'activité dont les temps d'arrêt correspondent à des épisodes d'ensablement (Dikura nord, coupe de la citerne-escalier). Le matériel sableux qui obture les orifices, accompagne le tarissement de la source et accuse l'assèchement progressif du climat. La coloration verte dénonce une hydromorphie par confinement à l'intérieur du conduit.

[228] *Ibid.*, p. 363.
[229] *Ibid.*, p. 28.

Ces baquets ont pu être utilisés comme point d'eau sans aménagement particulier. Un assemblage de matériel lithique, de fragments d'œufs d'autruche et de tessons datés de l'Ancien Empire [230], s'y retrouve parfois enfoui dans l'épaisseur des dunes (Tell-Douch ouest), construites à leur périphérie. Ces vestiges signalent ainsi, dans ces secteurs [231], la plus tardive période de fonctionnement pour les puits perchés de revers (Tell-Douch est, photo 67, Dikura sud). Aux périodes les plus récentes de l'Antiquité [232], pour atteindre l'eau et provoquer son ascension, des travaux de forage semblent en revanche avoir été nécessaires en plaine, lieu exclusif des puits actifs [233].

En deux mille ans, l'activité artésienne se serait ainsi progressivement atténuée en même temps que le niveau s'abaissait. Le repérage des points d'eau à l'écoulement désormais diffus, devait se faire pragmatiquement par les oasiens à partir des manifestations de surface décrites, comme le prouvent les parois de la citerne-escalier (Dikura-nord), creusée au droit d'un évent.

3.5 LES SOURCES ARTÉSIENNES AMÉNAGÉES POUR L'USAGE DOMESTIQUE

Ce type dérive d'une source artésienne naturelle, élargie par travaux et cernée par des monticules hauts de deux mètres au plus, élaborés à partir des déblais monogéniques qui résultent de son entretien (photo 70). Ces caractéristiques le distinguent des sources actives. À l'état de boue ou découpés en mottes, déposés au pourtour de la cuve par les curages successifs (Dikura est, photo 71), les éjecta enrichis de tessons d'époque romaine prouvent que l'eau atteignait encore un niveau assez proche de la surface, avec sans doute de moins en moins de force, au cours de la période d'utilisation.

L'absence de tout chenal d'évacuation qui le différencie du type suivant, fait de ce puits un simple point d'eau (*hydreuma*), hors site, pour désaltérer les hommes ou abreuver les bêtes (Dikura est et sud et Aïn Ziyada). Des dunes à tamarix ont fini par les recouvrir (Dikura est). Pour les plus apparents, des palmiers y sont parfois implantés (Dikura sud).

[230] La détermination est de Pascale Ballet.

[231] Les sites reconnus par la prospection géomorphologique sont Tell-Douch est (tessons) et ouest (tessons, silex aménagés et objets), Dikura sud (tessons), Aïn Boreq (tessons, œufs d'autruche, silex, lames de faucilles), Aïn Manawir est (silex travaillés et œufs d'autruche).

[232] G. Wagner, *op. cit.*, 1987, p. 279-283.

[233] Cf. l'étude sur les puits de Kharga in P.J. Parsons, « The Wells of Hibis », *JEA* 67, 1971, p. 165-180.

3.6 LES ÉQUIPEMENTS. CAPTAGE ET DRAINAGE DE L'EAU

Les équipements hydrauliques qui servent aux usages des oasiens assurent les différentes actions nécessaires à l'accomplissement de l'irrigation. Les plus spectaculaires concernent le captage et le drainage de l'eau.

3.6.1 LE PUITS CIRCULAIRE POUR L'IRRIGATION DES PARCELLAIRES

Il dérive également de l'exutoire d'une source artésienne et se repère de loin à son haut tertre pyramidal de déblais. Les exemples sont nombreux à proximité de Kysis, à Dikura, moins à Aïn Manawir et Aïn Ziyada. Ils se situent à mi-pente (Kysis), à la base des collines (Douch, Dikura, Aïn Ziyada) ou en plaine (Tell-Douch, au nord des nécropoles, photo 72, et Tell-Douch sud, photo 5). Aucun de ces puits n'est plus actif et tous sont inégalement ensablés, leur cuve parfois occupée par un tamarix (Douch nord), un acacia (Douch sud) ou un palmier (Dikura est).

La cuve est cernée d'une couronne d'éjecta accumulés en monticules inégalement individualisés, retenus par des murs qu'ils finissent par ensevelir (Dikura nord). De cinq à six nappes superposées construisent l'amas artificiel (fig. 25 et 29).

Le matériel est polygénique et provient du substratum rocheux profond. Il peut résulter d'un forage, dont on sait qu'il pouvait être profond de plusieurs dizaines de mètres. Faute d'une fouille totale en raison de l'énorme masse de sable à évacuer, on ne peut le prouver. L'intérêt serait grand cependant de pouvoir retrouver les vestiges matériels de son exécution, tels les troncs de palmiers utilisés comme entretoises et poutres de l'échafaudage pour le réaliser, conformément à la description qu'a fournie Olympiodore [234]. Réalisé à Dikura nord, le dégagement du pourtour d'une cuve a montré qu'elle avait été comme chemisée intérieurement par un enduit épais d'une vingtaine de centimètres. À cette pratique courante (à Dikura, plusieurs exemples), deux fonctions peuvent être attribuées : empêcher les parois limoneuses en tête de puits de s'ébouler tout en les rendant étanches.

Un des puits de Dikura nord a aussi montré que la cuve avait été modifiée, au point de se dédoubler. À l'origine on trouve une source artésienne dont il subsiste encore un vestige circulaire. La cuve ouest l'a en partie entamée et conflue dans une cuve jumelle. Un chenal unique évidé dans les limons est leur exutoire commun (fig. 25 et 29).

Le cratère de ce type de puits est recoupé par un chenal d'évacuation qu'accompagnent les levées de ses déblais. À son extrémité aval l'eau est conduite aux champs ou par des rigoles creusées à même le substrat lithologique (Tell-Douch, Dikura sud), ou par des conduits de terre cuite posés à même le sol (Tell-Douch sud). Le parcellaire qu'il alimente est toujours à proximité, au point que se caractérise ainsi un parcellaire de puits (photo 72).

[234] Cf. le texte in G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

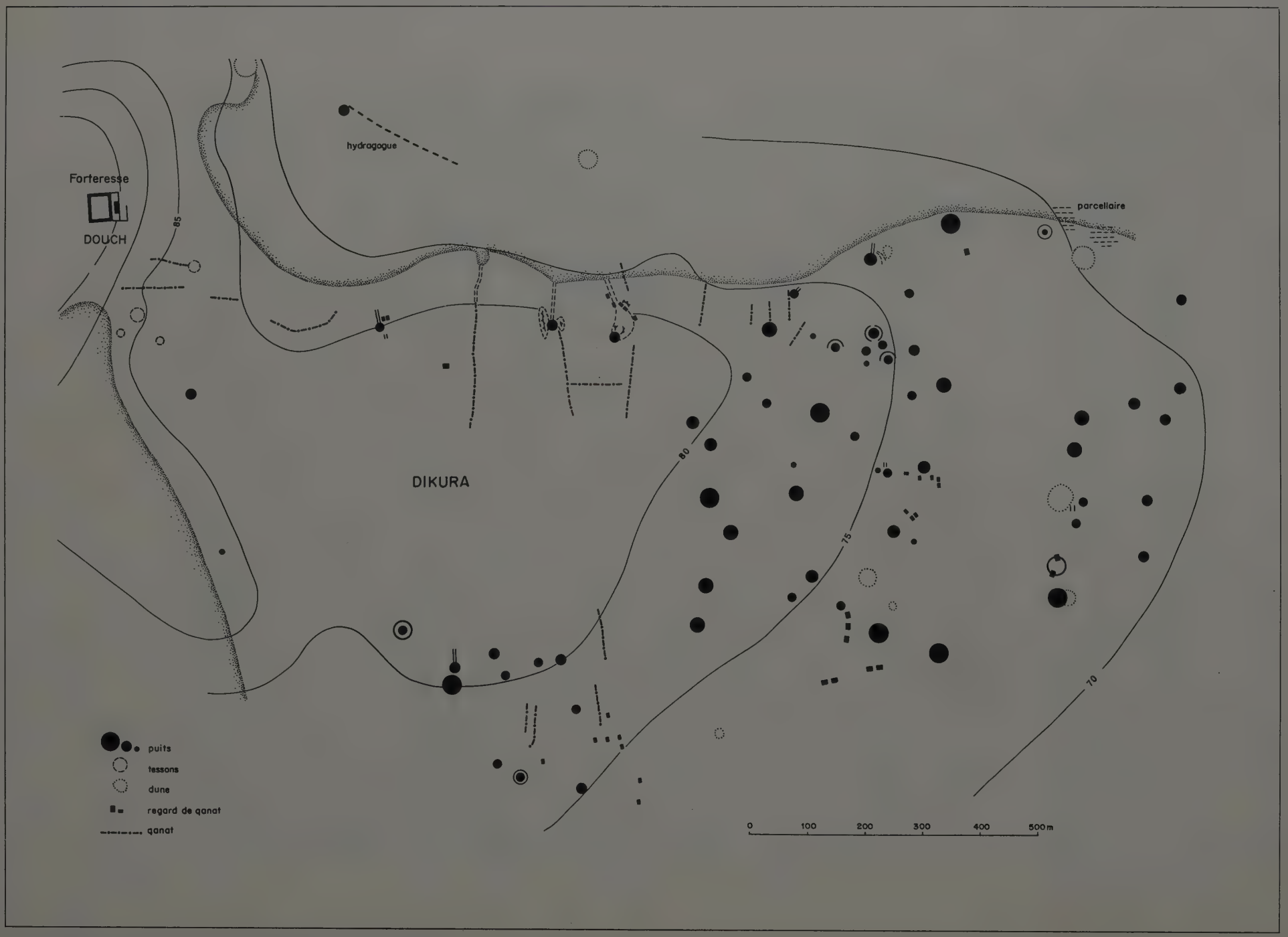


FIG. 25. *Plan des installations hydrauliques à Dikura. (Relevé Ch. Braun).*

Ce puits de forage est également un réservoir ; son canal et ses prolongements assurent le transport de l'eau. La montée artésienne guidée par la cavité forée déborde dans le cratère et, de là, dans le drain. Le puits à chenal d'irrigation désigne un des quatre modes élémentaires du système hydraulique. Son débit est soumis à des crues.

3.7 LE CAPTAGE-SAIGNÉE

Ce mode d'extraction élémentaire a sans aucun doute assuré l'apparition de l'un des deux types reconnus de *qanat*. Il caractérise les seuils topographiques les plus bas en bordure de plaine ou d'oued (Dikura nord, Tell-Douch ouest).

L'équipement se présente sous l'aspect d'une saignée de captage, creusée dans le substrat gréseux, étroite (moins d'un mètre de large) et profonde de trois à quatre mètres au maximum. Sa tête est un plan de taille qui découvre le griffon de source, une fissure par laquelle l'eau s'exfiltrait. La tranchée à ciel ouvert sert de chenal d'évacuation comme dans le type précédent.

Les murs circulaires qui cernent la tête quadrangulaire du captage, servent à la défendre contre les animaux ou l'ensablement plutôt qu'à la protéger des éjecta des curages et de leur éboulement. Le contexte hydrogéologique « propre », fissure suintante et chenal d'évacuation taillé dans le substrat gréseux, explique l'indigence de leur volume. Le type élémentaire à l'air libre est peu fréquent. Le recouvrement de la tranchée par un ouvrage de briques (Tell-Douch et Dikura) explique-t-il cette rareté ? Indiquerait-il la nécessité de l'abriter contre l'ensablement plutôt que d'empêcher les chutes accidentelles [235] ?

À Dikura nord-est, il existe un groupement de formes qui rappelle la morphologie de ce type. De part et d'autre d'un couloir long de cent mètres, large de vingt mètres se dressent des monticules alignés couverts d'éjecta. Il ne peut s'agir d'un *qanat* de type iranien. Les monticules ne se correspondent pas d'un bord à l'autre et se situent à des intervalles irréguliers. Les éjecta montrent des consolidations en mottes et des murs grossiers. On peut interpréter cet ensemble comme une fosse qu'on trouvera associée à d'autres formes dans certains *qanawat*. La saignée primitive s'est agrandie jusqu'à la dimension d'une fosse, sans doute en raison de l'épaisseur locale du limon.

3.8 LE RÉSERVOIR

Des bassins de réception éventrent l'extrémité ouest de Tell-Douch. Semi-circulaires, ou allongées, ou en forme d'entonnoir, ces excavations topographiques (photo 1) ont leurs rebords couronnés de déblais en vrac ou consolidés en mottes (Tell-Douch). La cavité est nappée de sable. Plan ou affecté d'une très légère pente, son fond est parsemé de concrétions de sable cimenté. À l'aval, un goulet resserre l'excavation et porte les traces noires et

[235] Cf. la momie de la petite fille de 8 ans porteuse d'une luxation traumatique, in F. Dunand *et al.*, *op. cit.*, 1992, p. 199.

ocres du passage d'une eau riche en fer et en manganèse. Tout se passe comme si les bassins de réception avaient été utilisés un temps comme des réservoirs à l'abri d'une levée ou d'un barrage (photo 205).

Dans la plaine d'Aïn Ziyada sud, on trouve l'exemple d'une butte profilée évidée. Des cloisons se dressent sous l'aspect de pans ruinés. La surface plane dégagée est également couverte d'un semis de sable concrétionné. Une rigole en argilite rouge, façonnée en auge et perchée au-dessus d'une dépression de nos jours très ensablée, assurait le transport de l'eau sans doute vers un parcellaire dont il ne reste que bien peu de sa digue de ceinture. La forme, semble-t-il, d'un réservoir d'eau subsiste, reconnaissable mais très ruinée. À proximité, perchées également, s'observent les traces d'un hydragogue, au flanc d'une butte profilée.

3.9 LA CITERNE À ESCALIER

La cuve (photo 73) de section grossièrement elliptique, profonde de 7 m, ses axes mesurant 3,40 m et 2,40 m, représente un volume total de 60 m^3. On atteint la réserve d'eau par quatorze marches taillées dans le substratum limoneux de la paroi. L'escalier arrive sur une étroite margelle sous laquelle a été creusée la citerne, à proprement dite, d'une contenance de 15 m^3. L'eau était puisée directement au bas de l'escalier ou par un balancier (traces sur la face ouest d'exhaure de l'eau). La citerne creusée jusqu'à la nappe phréatique rabat le flux qui par gravité se déverse dans le réservoir. Elle fonctionne comme un puisard. Sur les parois, les traces d'une frange capillaire traduisent, en outre, la mobilité du niveau d'eau. Ce mode d'alimentation latérale exclut toute activité artésienne pour ce type dont l'usage paraît plus domestique qu'agricole (fig. 25 et 26)

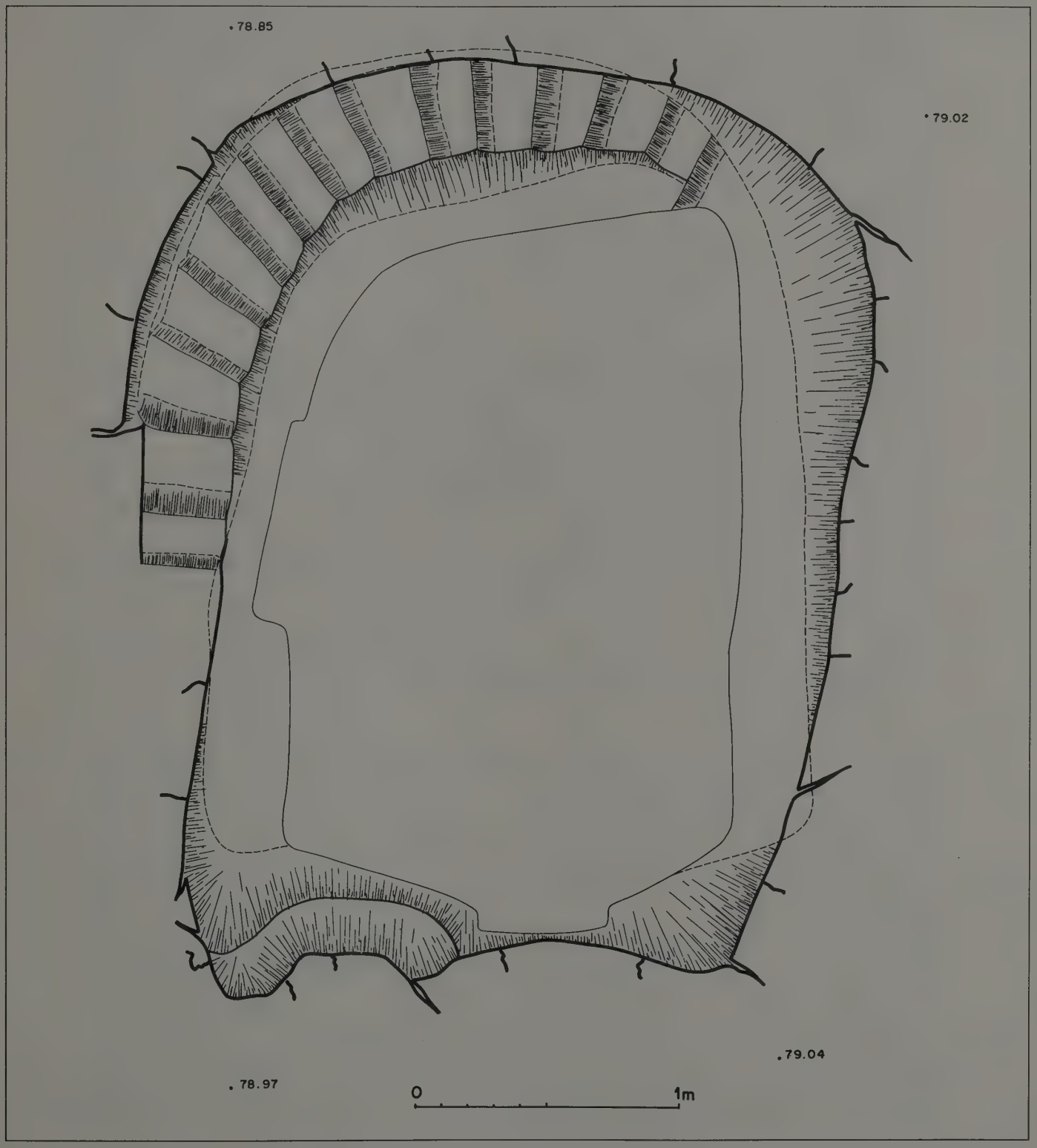
Elle pourrait avoir introduit une nouvelle technique, pour atteindre le niveau de la nappe phréatique générale, en cours d'abaissement. Son creusement suppose que ses utilisateurs ne craignaient pas un ensablement rapide, sur l'année, comme, après sa fouille, le démontra son réensablement effectué en ce si court laps de temps.

L'exemple n'est pas unique. Plus à l'est, une autre citerne plus petite a été repérée, mais non entièrement dégagée. Seules les trois premières marches de son escalier ont été mises au jour. Le diamètre de la citerne est de 5 mètres. Une autre ouverture ronde au diamètre plus petit (2 m) se trouve également à proximité.

Il est possible qu'ailleurs existent d'autres exemplaires similaires, très différents des puits par leur mode d'alimentation ou leur fonction. À Tell-Douch est, une fosse ronde est alimentée par une *qanat*-tranchée (photo 208). De même, à Dikura est, s'observe la trace d'une citerne ronde située à l'aval d'une galerie à regards rectangulaires. Également, à Aïn Boreq, une fosse ronde qu'alimente une galerie de drainage évacue l'eau par un exutoire à la forme de saignée. Cet exemple unique assure à lui seul les trois premières actions de l'irrigation, le captage par galerie, le stockage et le drainage.

Un *qanat* n'est pas aussi complexe, si, architectoniquement, il est plus diversifié. Il introduit un autre mode de valorisation de l'eau, puisqu'il suppose le captage d'une nappe par le creusement d'un tunnel et sa pénétration à l'intérieur d'un relief rocheux suffisamment volumineux pour retenir une réserve d'eau utile et rapidement renouvelée.

FIG. 26. *Plan de la citerne à escaliers de Dikura. (Relevé Ch. Braun).*



3.10 LE QANAT: GALERIE DE DRAINAGE

Par définition [236], il s'agit d'une galerie souterraine, tunnel de drainage par gravité, dont la profondeur diminue d'amont en aval. On la repère et la suit en surface par l'alignement de ses tertres détritiques, très comparables à d'énormes taupinières (photos 4, 74, 75, 76, 77, 78, 79). À l'intérieur de ces monticules coniques, un maçonnage de briques est très souvent enchâssé (photos 77, 78). Son couronnement délimite un regard, au débouché d'une cheminée verticale qui a servi d'abord au creusement de la galerie, puis à l'expulsion des déblais pour être enfin utilisée comme une voie d'accès qu'imposent sa surveillance, son entretien et son aération [237]. Le regard est d'accès direct et de petites prises aménagées dans le briquetage (Aïn Ziyada) ou creusées dans le substratum (Tell-Douch nord, Dikura nord) permettent de descendre, sans l'aide d'une corde ou d'une échelle. Mais on trouve des accès obturés par une dalle de grès (Aïn Manawir, Umm al-Dabadib) ou par un bourrage de déblais argileux (Dikura, photo 91, Aïn Boreq).

La succession des tertres s'échelonne le long des revers (photo 79), ou du front (photos 76, 77) des reliefs et se dirige vers leur piémont. Un hydragogue dont le tracé est parfois visible, prolonge la galerie souterraine et conduit l'eau aux parcellaires (Aïn Manawir est, Dikura nord). L'alignement est le plus souvent singulier et rares sont les exemples avec branchements secondaires (Dikura nord, Tell-Douch sud).

Ce type morphologiquement bien déterminé (photo 78), et qu'on peut dénommer iranien pour sa forme, et perse [238] pour sa date d'implantation (?), est donc connu dans le secteur de Douch. Les plus imposants exemplaires se situent à Aïn Manawir (face nord et est (photos 4, 83, 84, 85), en partie ensevelis sous les *barkhanes* qui escaladent les pentes. Mais on en trouve d'aussi classiques à défaut d'être aussi gigantesques à Aïn Ziyada (face sud, photos 88, 89, 90), à Tell-Douch (face sud) et à Dikura (face nord et sud, photos 83, 85). De comparables et d'aussi visibles, comme on a pu le constater, existent également à Aïn Labakha, à Umm al-Dabadib [239] et à Kharga.

[236] H. Goblot, *Les qanats. Une technique d'acquisition de l'eau*, Paris, 1979, et plus particulièrement pour l'Égypte, p. 112-115. X. de Planhol, P. Rognon, *Les zones tropicales arides et subtropicales*, Paris, 1970. (cf. « L'utilisation des eaux souterraines. Les galeries draînantes », p. 101-109). K. Grewe, « Ein geodätisch-historicher Reiseführer », *Geodäsie Unterwegs* 3, 1981, p. 94-99. P. Briant, « Travaux hydrauliques et contrôle de l'eau dans l'empire achéménide », in *Les problèmes institutionnels de l'eau en Égypte ancienne et dans l'Antiquité méditerranéenne*, Colloque de Vogüé 1992, Le Caire, IFAO, 1995 ; E.S. Hills (éd.) *Arid Lands*, Londres, 1966/1969, § « Qanats », p. 88-96.

[237] Le schéma est classique et connu au Proche-Orient. Il a fait l'objet de multiples études. Les plus récentes ont été présentées à un colloque dont les résultats ont été publiés par les soins de l'IFAPO, *Techniques et pratiques hydro-agricoles traditionnelles en domaine irrigué*, 1990, t. 1 et 2, et en particulier t. 2., § « Sources et nappes phréatiques », p. 257-333. On peut y ajouter I. Kabori (éd.), *Qanawat Romani Taibe Oasis*, Report n° 1, University of Tokyo, 1980 et I. Kabori (éd.), *Case studies of Foggaras Oases in the Algerian Sahara and Syria*, Report n° 2, University of Tokyo, 1982.

[238] Polybe X, 28 : « À la surface du sol, il n'y a pas d'eau apparente dans cette région (dans le désert entre les Portes caspiennes et Damghan, vers 209 av. J.-C.), mais il y a des canaux souterrains assez nombreux, reliés à travers le désert à des puits qui sont ignorés de qui ne connaît pas le pays » (traduction de l'édition Budé).

[239] Le *qanat* de Umm al-Dabadib a été exploré par H.J.L. Beadnell qui a fait une description très vivante et oppressante de sa marche dans la galerie, in *An Egyptian Oasis*, Londres, 1909.

Un autre type, similaire dans son principe – aussi peut-on lui conserver la dénomination de *qanat* – mais plus disparate dans sa composition architectonique, a été défini à la suite des prospections de terrain menées dans le même secteur. On le repère également au sommet des reliefs, sur leurs pentes jusqu'à leur pied, démontrant par là que, comme pour le type iranien, l'objectif est de capter une nappe haute ou perchée et de la drainer. Certains de ces segments ont été sondés, fouillés ou examinés, à savoir: en partie, une cheminée d'accès revêtue de son ouvrage de briques, à Aïn Ziyada (photo 98); des segments de tranchée et une galerie, en y rampant, à Tell-Douch nord et est; des fosses (photo 99) et l'entrée d'une galerie à Dikura nord.

On peut parler à son propos d'un type local ou kysite. Ces *qanawat* sont individuellement plus difficiles à repérer en raison de leur total ensablement. Ainsi les regards reparaissent-ils d'une saison à l'autre, découverts à l'improviste, au gré des déplacements du sable (Dikura, photo 84). Mais, plus certainement, ces ouvrages le sont-ils en raison de l'absence de tout tertre signalétique. Dans un couloir de déflation à Dikura ouest (photos 53, 83), le tracé de la *qanat* a été retrouvé à partir d'imperceptibles dos de terrain, localisés chaque fois au droit d'un regard. La légère ondulation était signalée par un reg de quartz grossiers semblables à ceux du grès, et dont la présence paraissait incongrue à la surface d'une nappe de sable fin. La disparition des déblais s'explique, dans ce cas, par la désagrégation des débris gréseux obtenue en deux mille ans. Elle pourrait s'expliquer, plus généralement, par l'énergie du système désertique qui se montrerait d'autant plus efficace qu'elle s'est exercée plus longtemps. Dans ce cas, le nivellement des tertres pourrait avoir une valeur chronologique et permettrait de distinguer des *qanawat* anciens sans tertres et des plus récents avec tertres. En fait la disparition des déblais les plus volumineux pourrait s'expliquer, plus vraisemblablement, par leur réutilisation comme comblement des fosses qui se montrent un des traits architectoniques spécifiques de ce type kysite.

D'autres traits sont autant remarquables. L'emplacement des accès ou regards varie en fonction de la topographie où ils s'établissent. Aucune préparation ne semble présider à leur implantation. Et leur découverte s'accompagne de l'attrait de l'inattendu ou de l'imprévu. Ils se situent aussi bien sur une surface plane (photos 102, 104) qu'au sommet d'une butte profilée (photo 87) ou d'un yardang (Dikura ouest et est), parfois à leur pied (Aïn Ziyada), ou s'y encastrent, recoupant leur profil (Aïn Boreq). Les déblais du substrat rocheux sont déposés en vrac par dessus et signalent leur présence singulière ou leur groupement par deux ou même trois (Dikura, photos 84, 85, 86), Aïn Boreq, Aïn Ziyada (photos 88, 89), Aïn Manawir ouest). Indirectement, cette superposition de faciès qui peut se repérer par la fossilisation d'une surface aménagée (Tell-Douch), démontre l'antériorité des buttes profilées, déjà ainsi très caractéristiques de ces piémonts d'accumulation. Ou bien leur ouverture, comme faite à l'emporte pièce dans les limons gris, s'impose sans encadrement de briques et se repère à la figure géométrique comblée de sable clair qu'elle dessine à leur surface lisse (Dikura, photos 99 et 103, Aïn Ziyada). Comme on peut les retrouver à l'intérieur d'un dôme artificiel. L'enveloppe qui masque la cheminée a été constituée à partir des débris du creusement (Douch est, photo 100, et nord). Les déblais peuvent cerner le regard qui se trouve au

centre du cône (photo 87), comme ils peuvent former un dôme à côté duquel il se situe (photos 88, 89), parfois à une certaine distance. Tertre détritique et regard ne sont donc pas génétiquement attachés à une seule et même façon de se situer dans l'espace l'un par rapport à l'autre.

L'alignement des regards (photo 83) n'est pas non plus la règle. Leur tracé rectiligne peut s'infléchir (Dikura ouest), comme il peut s'interrompre à mi-pente en raison d'un changement morphoarchitectonique de l'équipement. De plus, les regards présentent des tailles, des formes et des orientations d'axe variées qui se modifient même de l'un à l'autre, pour un même *qanat* (Aïn Ziyada nord, Dikura), augmentant la difficulté de leur repérage qui ne peut tabler, pour un *qanat* kysite, ni sur l'homogénéité, ni sur la similitude des traits extérieurs qui pour le type iranien servent en surface à suivre son cheminement souterrain.

Enfin ces *qanawat* semblent n'obéir à aucun principe d'organisation préconçue. Une sorte d'éparpillement désordonné ressort de leur inventaire (Aïn Ziyada, Dikura). Bien des *qanawat*, certes, sont incomplètement repérés faute d'un balayage systématique, difficile à réaliser dans le temps compté d'une prospection, ou en raison de l'épaisseur du sable et de la volumineuse présence des dunes qui les masquent (Aïn Manawir, Dikura). Aussi se réduisent-ils à des segments sans aboutissements visibles. Le corollaire est l'existence d'hydragogue, sans début, ni terme.

Pourtant, la prospection montre que l'usage de ces deux types de *qanawat*, présents dans tous les sites et en grand nombre, aboutit à la réalisation de réseaux, ces labyrinthes de taupes dont parle Ungaretti, et dont la finalité reste l'irrigation, même si un plan d'ensemble paraît inexistant. En fait, le désordre de leur implantation révélerait un développement évolutif que traduit la disparité morphologique des équipements, et pour lesquels on saisit mal la durée d'usage. En outre, toutes les installations d'un même réseau n'ont peut-être pas non plus fonctionné en même temps. Dans ce cas, la réalité du réseau deviendrait, elle-même, imaginaire.

Mais la prolifération pourrait être aussi d'ordre mésologique. De l'altération du type qui a transformé son apparence, s'impose un effet. Les portions évidées de ces *qanawat*, parfois si gigantesques qu'ils occasionnaient une véritable coupure à l'échelle du site (Douch nord (photos 2, 90), sont désormais comblées et inapparentes. L'évolution fait que le drainage le plus apparent ne l'est plus, alors que l'autre type demeure tout de même repérable. Les voûtes de briques ou le bouchon d'argile (Aïn Boreq, Dikura, photo 91) qui obstrue certaines tranchées et saignées, les déblais qui comblent les fosses, confirment l'effort à le dissimuler, au point de le rendre à l'inverse de son aspect primitif. Faut-il y voir une réponse à des modifications du milieu, et une façon de lutter contre une arrivée de sable devenue incontrôlable et ainsi inévitable ? Peut-on aller jusqu'à dire que les *qanawat* locaux à tertres sont apparus en fait ultérieurement et plus tardivement ?

Les *qanawat* kysites ont en effet pour caractéristique une hétérogénéité morphologique qui s'opposerait à l'homogénéité de l'autre type. La cohésion du type iranien provient du fait que la galerie drainante reste souterraine tout au long de son parcours. Le type kysite ne présente pas une telle régularité. Il juxtapose pour un même parcours (photo 102), galerie en tunnel, fosse à palier (photo 90), tranchée (photo 99) et saignée à l'air libre. Il

montre que le drain associe parfois en les alternant des segments souterrains ou couverts, et d'autres à ciel ouvert, mais désormais comblés par le sable. Il ne demeure pas sur la totalité de son parcours une galerie souterraine. Il se subdivise en segments aux caractéristiques particulières qu'il s'agit maintenant de décrire et d'analyser (fig. 24 et 34).

3.10.1 LA GALERIE

Les passages en tunnel intercalés sont avec ou sans conduits verticaux d'accès selon leur longueur. La galerie souterraine (photo 92) est étroite. Sa largeur est de la carrure d'un homme (moins de 50 cm). Elle est creusée dans le grès, haute de deux à plus de trois mètres (Dikura nord). Son plafond est voûté ou droit. Son plancher est une goulotte en auge, parfois affectée d'un surcreusement (Dikura), pour ralentir le débit ou ménager un réservoir qui à l'occasion peut servir à puiser de l'eau comme dans un puits (?), s'il se situe au droit d'un regard (fig. 27). La rainure est évidée dans le substrat rocheux, à la limite des grès et du schiste sous-jacent (Dikura nord). Le tunnel comporte des courbes (Douch nord) qui montrent un creusement de galerie techniquement élaboré et dénoncent l'influence des fractures. Le drain est à la recherche de la circulation vadose fissurale.

3.10.2 LES REGARDS

Présentes, les descentes verticales assez régulièrement espacées d'une dizaine de mètres en moyenne (photos 83, 102, 103) se détectent en surface à leur ouverture circulaire ou quadrangulaire (photos 93, 94, 98), logée à l'intérieur d'un cône de déblais (photo 84), rare similitude avec le type iranien ou découpée directement à la surface du limon (photos 98, 99) ou à l'intérieur d'une butte profilée. On peut y singulariser aussi des regards maçonnés ou non. À son ouverture circulaire (photo 93), au ras du sol, le conduit, puits dans ce cas, d'un diamètre inférieur au demi-mètre, est délimité soit par un pavage de dalles de grès ou de briques posées à plat, en contact par leurs angles, soit par un bourrelet épais de quelques centimètres pour une largeur inférieure au décimètre et grossièrement façonné dans des argilites détrempées (Dikura ouest, photo 93, Douch sud). Quand le conduit a une forme quadrangulaire, rectangulaire ou carrée (photos 83, 94, 98), il est une cheminée au débouché maçonné ou non. Les briques moulées, en torchis de cases fait à partir du limon local, à quoi se mêlent de la paille, des petits cailloux et des charbons de bois, ont le module de celles du temple (39 cm × 19 cm × 7 cm) [240]. Elles élèvent, enchâssé dans le limon, un mur (photo 88) dont la base repose soit sur les faciès inférieurs du dépôt limoneux soit sur le grès, selon la stratigraphie du site. Un couronnement épais d'une à deux assises termine la maçonnerie du conduit. Les briques amincies par la corrasion éolienne subsistent, réduites parfois à l'état de vestiges d'une épaisseur inférieure au

[240] Les prélèvements faits n'ont pu être techniquement datés. Les briques les plus anciennes du temple ont pu l'être en revanche du IIIe siècle av. J.-C. (renseignement oral de Michel Reddé).

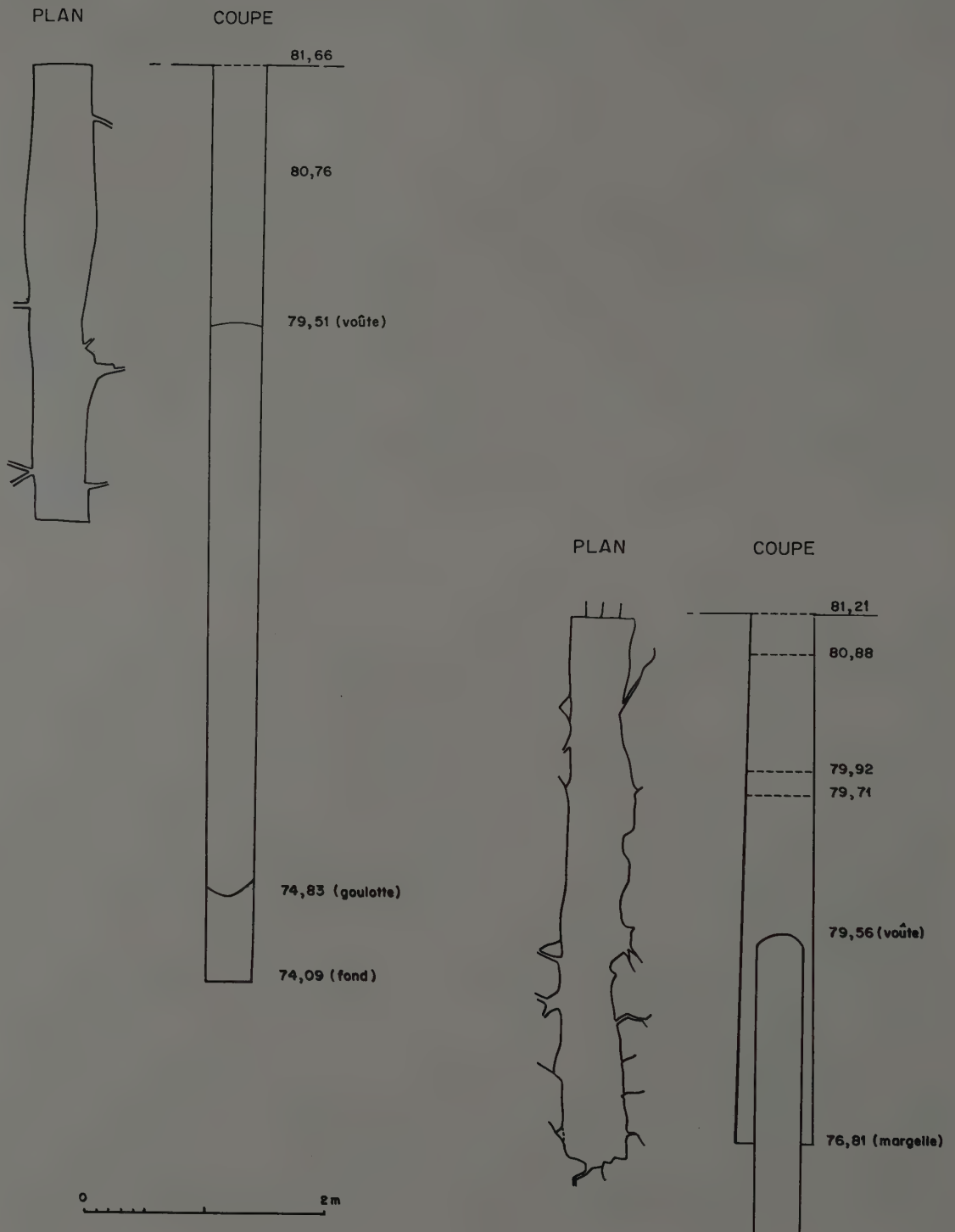


FIG. 27. *Coupe de la galerie du* qanat *à tranchées de Dikura. (Relevés Ch. Braun).*

centimètre (photo 94). Il se trouve aussi que le briquetage peut s'élever très au-dessus de la surface des limons. Il est placé au centre d'un gros œuvre de terre rapportée, dont la surface pavée de mottes supporte un cône de déblais destiné à masquer l'appareil du conduit (Dikura ouest, photo 95). Ou il est enterré à l'intérieur d'un remblai dont le diamètre atteint six mètres et dont la circonférence est délimitée par des mottes grossières (Aïn Ziyada, photos 96, 97). Enfin les ouvertures de ces cheminée (photo 98) ont des tailles différentes, soit carrées (40 cm × 40 cm) et étroites, soit rectangulaires et larges (170 cm × 50 cm). On peut dire que les accès de même forme mais d'un gabarit supérieur sont en fait des ouvertures sans parement de briques ou à la finition inachevée. Pour quelle raison ?

Pour résumer, les accès verticaux (puits ou cheminée) à la galerie, hors de la diversité de leur environnement topographique, s'inscrivent à l'intérieur de monticules de déblais ou non ; leurs ouvertures (regards) sont circulaires ou quadrangulaires, ces dernières carrées ou rectangulaires, briquetées ou non et placées ou non dans un gros œuvre de mort-terrain rectangulaire ou circulaire, maçonné ou non. La diversité est la règle.

3.10.3 LA TRANCHÉE

L'accès peut être une tranchée (photo 99), longue de plusieurs mètres (jusqu'à 10 m à Dikura nord) et large d'un demi-mètre. Sa profondeur peut atteindre 7/8 m et plus (Dikura nord). À ciel ouvert, la tranchée a ses parois (limon, puis grès, Dikura nord) laissées à nu ou enduites d'un torchis (mouna) très lisse et sans impuretés (photo 99). Elle peut être recouverte d'une voûte en briques laissée apparente (photo 100) ou masquée sous un blocage de pierres fournies par les déblais (photo 101, Dikura nord). La voûte peut être d'un seul tenant ou interrompue par un regard briqueté (Dikura nord, photo 100). Les tranchées alternent avec des passages en tunnel sans regard (photos 102, 103). Leur plancher est évidé en rigole (Dikura nord). Le *qanat* (Dikura nord) peut être uniquement composé de tranchées comme il peut les alterner avec des segments en tunnel à regards (Dikura nord) ou des fosses (fig. 27).

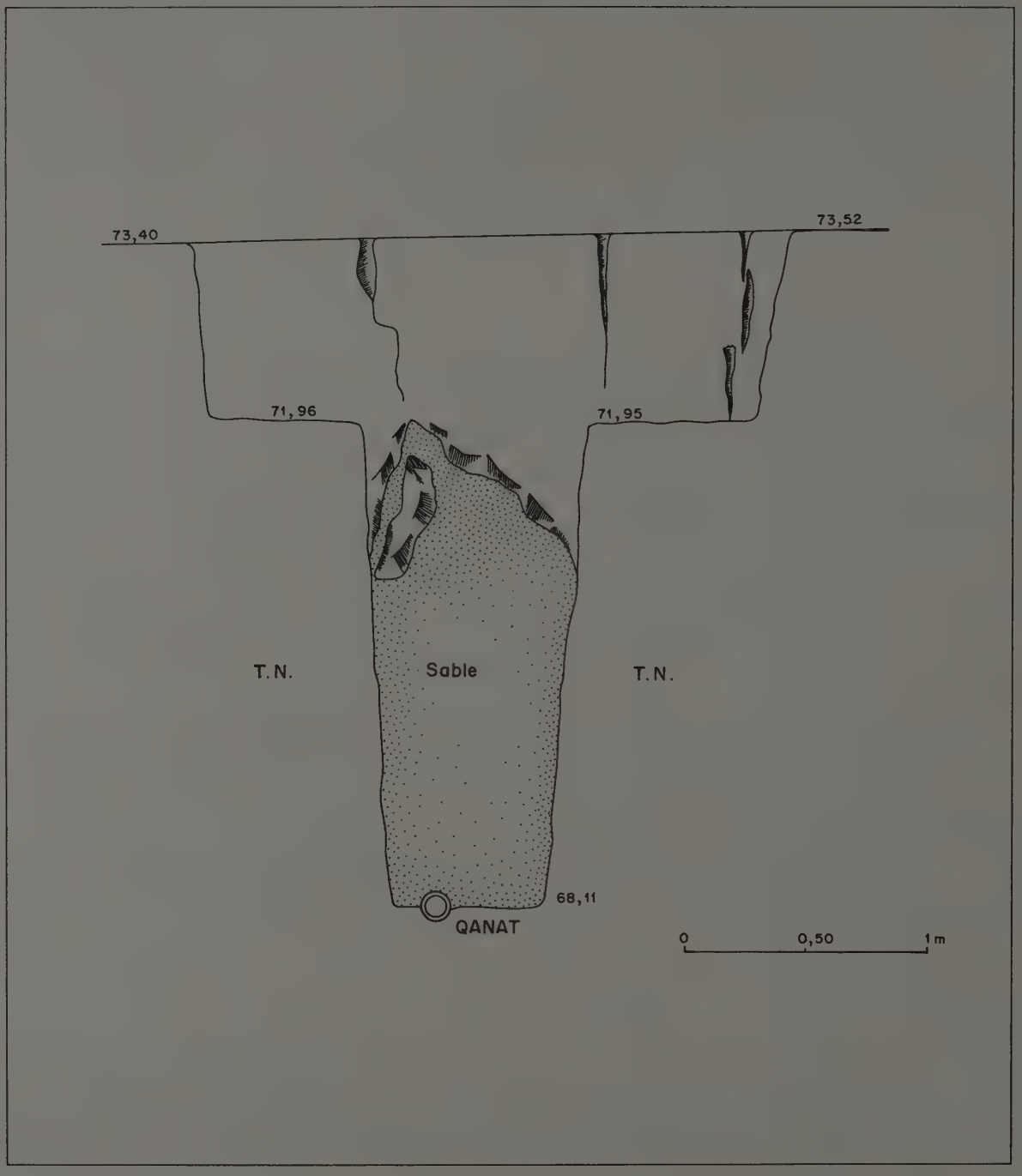
Pour un même *qanat*, ces tranchées présentent des degrés de finition différents. Les unes ont été laissées à ciel ouvert ; les autres sont couvertes d'une voûte, elle-même à l'origine masquée ou non (Dikura nord, photos 102, 103, 104) par un *opus incertum* en blocailles gréseuses.

La question se pose de savoir pourquoi cette diversité ? N'est-elle que factuelle ou traduit-elle un aménagement de l'ouvrage afin de l'adapter à des conditions de milieu devenues différentes ?

3.10.4 LA FOSSE

On trouve également des fosses larges à leur sommet de 7 m, longues de plusieurs dizaines de mètres, 40 m à Douch nord (photo 2), 25 m à Dikura nord, à palier intermédiaire (Douch nord, photo 90), laissées à ciel ouvert (Douch nord, photo 90) ou comblées

FIG. 28. *Coupe de la fosse du* qanat *de Tell-Douch. (Relevé Ch. Braun).*



par les déblais (Dikura nord). Elles peuvent s'expliquer par l'épaisseur inaccoutumée du limon (plus de 7 m à Tell-Douch nord). Des conduits de terre cuite (22 cm de diamètre à Douch nord) occupent le fond de la fosse large de deux mètres (Tell-Douch nord). Les fosses peuvent se suivre et être séparées par un tunnel évidé dans le substrat (Douch nord) ou jointes par une saignée étroite (Dikura, fig. 28).

3.10.5 LA SAIGNÉE

On trouve en effet des saignées à ciel ouvert (photo 103) dont le gabarit est comparable à celui d'une galerie drainante qui peut du reste leur être associée (Tell-Douch nord). Elles ne sont pas une évolution par effondrement de la voûte d'un tunnel. Sans voûte dès l'origine donc, étroites et profondes (4-5 m, Tell-Douch nord-est), elles sont aussi couvertes. La voûte construite en briques posées sur leur champ (Dikura, plusieurs exemples [photo 84], Douch nord) ou dressées pour former une voûte triangulaire (Tell-Douch est, Dikura) peut être interrompue par des regards à encadrement maçonné.

3.11 LA COMPOSITION ARCHITECTONIQUE

Ainsi, le *qanat* creusé dans le substrat lithologique polygénique des reliefs peut être composé d'une succession de tunnels, de puits ou de cheminées, de tranchées, de fosses, de saignées (type kysite). À l'origine à ciel ouvert, comme les fosses par la suite comblées, les saignées et les tranchées ont été couvertes par une voûte de briques, elle-même masquée par un dallage cimenté à la surface duquel s'inscrit, rectangulaire ou carré, le couronnement de briques du regard.

L'obturation des accès des *qanawat*, de type aussi bien iranien que kysite, comme le comblement des fosses signifie-t-elle une péjoration climatique si accusée que l'entretien de ces équipements devenant trop fastidieux força les oasiens à couvrir ces puits ou ces excavations nécessaires à la surveillance, jusqu'à les condamner définitivement (Dikura, Aïn Boreq, Aïn Manawir et Umm al-Dabadib) ?

La description de quelques *qanawat* permet d'illustrer comment s'organisent ces différents termes entre eux. Elle permet de souligner l'originalité de ce modèle kysite par rapport au modèle iranien.

3.11.1 SEUIL DE DIKURA

SECTEUR DIKURA NORD — Dans le secteur des puits surimposés aux *qanawat*, on a l'exemple, à l'est, d'un *qanat* (photos 96, 99, 100, 102, 103, 104), long de 127 m, composé d'un secteur amont constitué de 12 tranchées dont 5 à regards médians, et d'un secteur aval à 3 regards quadrangulaires (fig. 29).

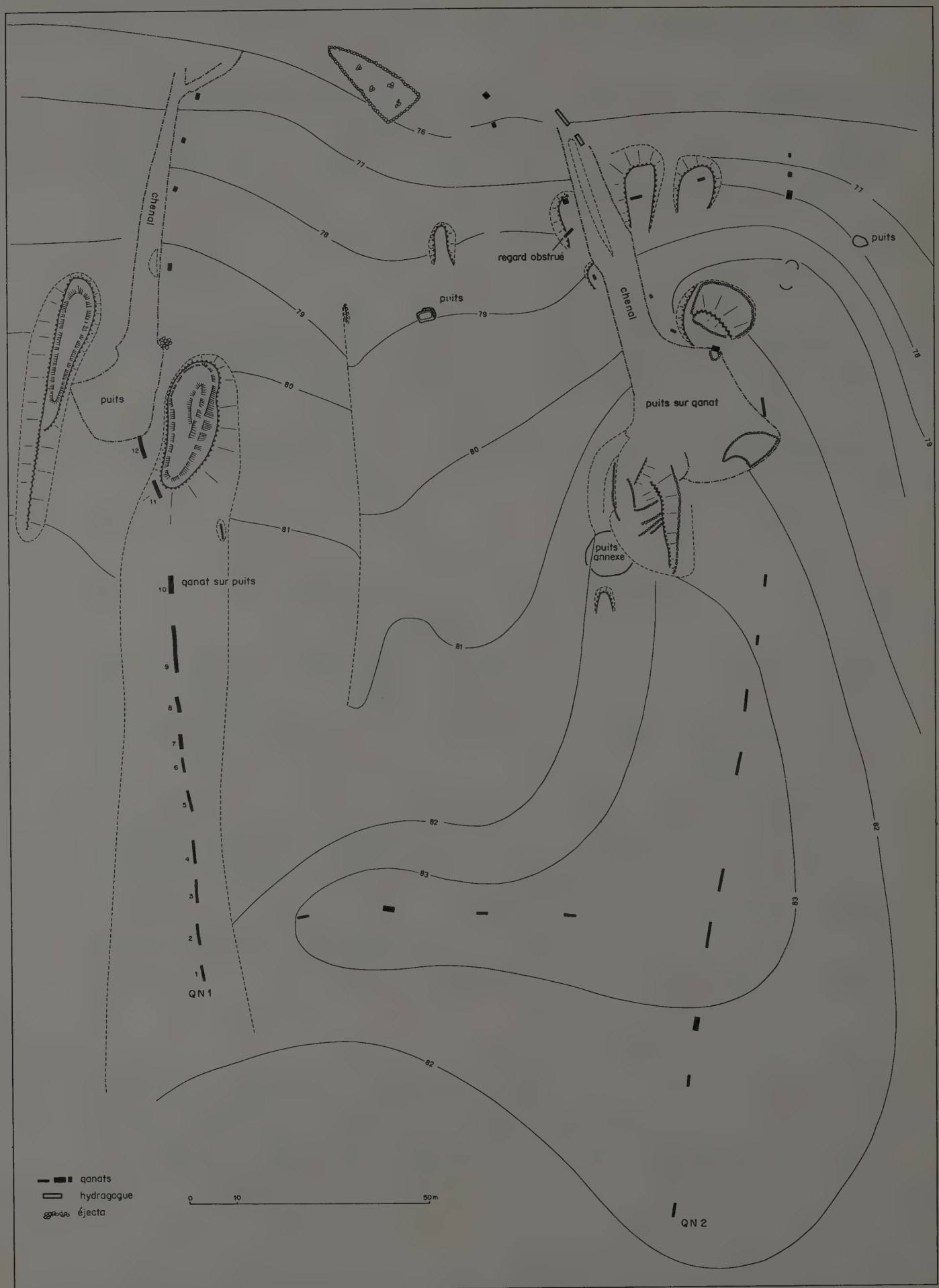


FIG. 29. *Dikura. Plan général des différentes installations hydrauliques. (Relevé Ch. Braun).*

Galerie = L en m.		Tranchées = L × l en m	Caractéristiques
		n° 1 : 3,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 4 m			tunnel sans regards
		n° 2 : 5,4 m × 0,5 m profondeur : 7 m. volume : 19 m³	à l'air libre (fouillée, phot. 99) paroi aval enduite d'un torchis lissé
Plancher	profondeur :7 m		
Galerie	largeur : 0,50 m hauteur : 2,50 m longueur : 5,40 m volume : 6,75 m³		sans regards goulotte creusée dans le grès
		n° 3 : 5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 3 m			sans regards
		n° 4 : 5,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 6 m			sans regards
		n° 5 : 5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 3,50 m			sans regards
		n° 6 : 3 m × 0,5 m	à regard/aval
L = 2 m			sans regards
		n° 7 : 3 m × 0,5 m	regard/amont (phot. 100) briquetage à 12 rangs voûte triangulaire apparente
L = 4,50 m			sans regards
		n° 8 : 3 m × 0,5 m	regard médian/blocage à ciment rose et grès blancs (phot. 101)
L = 5 m			sans regards
		n° 9 : 10 m × 0,50 m	à l'air libre (phot. 102)
L = 7 m			sans regards
		n° 10 : 3,5 m × 0,5 m	regard médian/blocage (phot. 103)
L = 16 m			sans regards et coude
		n° 11 : 4 m × 0,5 m	regard médian/blocage
L = 5 m			sans regards
		n° 12 : 5 m × 0,5 m	à l'air libre incurvée mur à revêtement hydraulique aval (phot. 104)

Le *qanat* se poursuivait au-delà du puits qui l'a capté, sur la rive droite du chenal d'évacuation à l'air libre. Ce segment est composé d'une galerie à regards rectangulaires dont quatre peuvent être reconnus.

Galerie : L en m	Regards : L × l	Caractéristiques
L = 34 m		
	1,5 m × 1 m	briquetage
L = 15 m		
	1 m × 0,5 m	nu
L = 9 m		
	1 m × 0,5 m	nu
L = 8 m		
	1,5 m × 0,5 m	nu

Au puits ouest de ce secteur nord de Dikura, un autre *qanat* (fig. 29) long de 245 m, composé d'un secteur amont à dix tranchées et d'un secteur aval à 5 regards, présente un plan complexe avec, à l'amont, un branchement, rive droite, d'une longueur de 82 m, à 4 tranchées, et, à l'aval, un branchement, rive droite, de 20 m de long, à 2 regards, et un, rive gauche, de 15 m de long, à 3 regards (fig. 29).

Le tracé de la galerie est perturbé par l'installation de puits. Leur chenal d'évacuation est dédoublé à l'aval, incorporant une galerie installée sur la rive droite.

• *Galerie principale*

Secteur amont à tranchées

Galerie L en m	Tranchées L × l en m	Caractéristiques
	n° 1 : 3 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 24,5 m		
	n° 2 : 2,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 9 m		
	n° 3 : 3,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 14 m		
	n° 4 : 5,5 m × 0,5 m	regard aval
L = 7 m		embranchement RG
	n° 5 : 4,5 m × 0,5 m	regard aval
L = 20 m		
	n° 6 : 4,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 8,5 m		
	n° 7 : 4,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 9 m		
	n° 8 : 2 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 10 m		
	n° 9 : 2,5 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 32,5 m		
	n° 10 : 4 m × 0,5 m	à l'air libre
L = 13,5 m		terminaison : cuve de puits

Secteur aval à regards

Galerie L en m	Regards : L × l en m	Caractéristiques
	n° 1 : 1,5 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 8,5 m		
	n° 2 : 1 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 9,5 m		
	n° 3 : 0,75 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 32,5 m		
	n° 4 : 1 m × 0,5 m	sans briquetage départ d'un hydragogue à cylindres de terre cuite

• *Le branchement amont rive gauche*

Galerie : L en m	Tranchées : L × l en m	Caractéristiques
	n° 1 : 2,5 m × 0,5 m	sans briquetage
15,5 m		
	n° 2 : 2,5 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 15,5 m		
	n° 3 : 1,75 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 15,5 m		branchement RD
	n° 4 : 2,5 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 27 m		

• *Les branchements : aval rive gauche (ouest)*

Galerie L en m	Regards L × l en m	Caractéristiques
	n° 1 : 1 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 10 m		
	n° 2 : 2 m × 0,5 m	tranchée courte obturée axe oblique (phot. 91)
L = 5 m		
	n° 3 : 1 m × 1 m	sans briquetage

• *et aval rive droite (est)*

Galerie L en m	Regards L × l en m	Caractéristiques
	n° 1 : 1,5 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 12 m		
	n° 2 : 2 m × 0,5 m	sans briquetage
L = 4 m		

De part et d'autre de ce système, se repèrent deux segments amont de *qanat* dont le secteur aval de chacun est sous les sables.

Qanat est. Longueur apparente : 10 m.

Galerie	Regards	Caractéristiques
	n° 1 : 1,75 m × 0,5 m	briquetage
L = 2,5 m		
	n° 2 : 1 m × 0,5 m	briquetage
L = 3 m		
	n° 3 : 0,5 m × 0,5 m	sans briquetage

Qanat ouest. Longueur apparente : 7 m.

Galerie	Regards	Caractéristiques
	n° 1 : 1 m × 0,5 m	briquetage
L = 5 m		
	n° 2 : 1 m × 1 m	briquetage

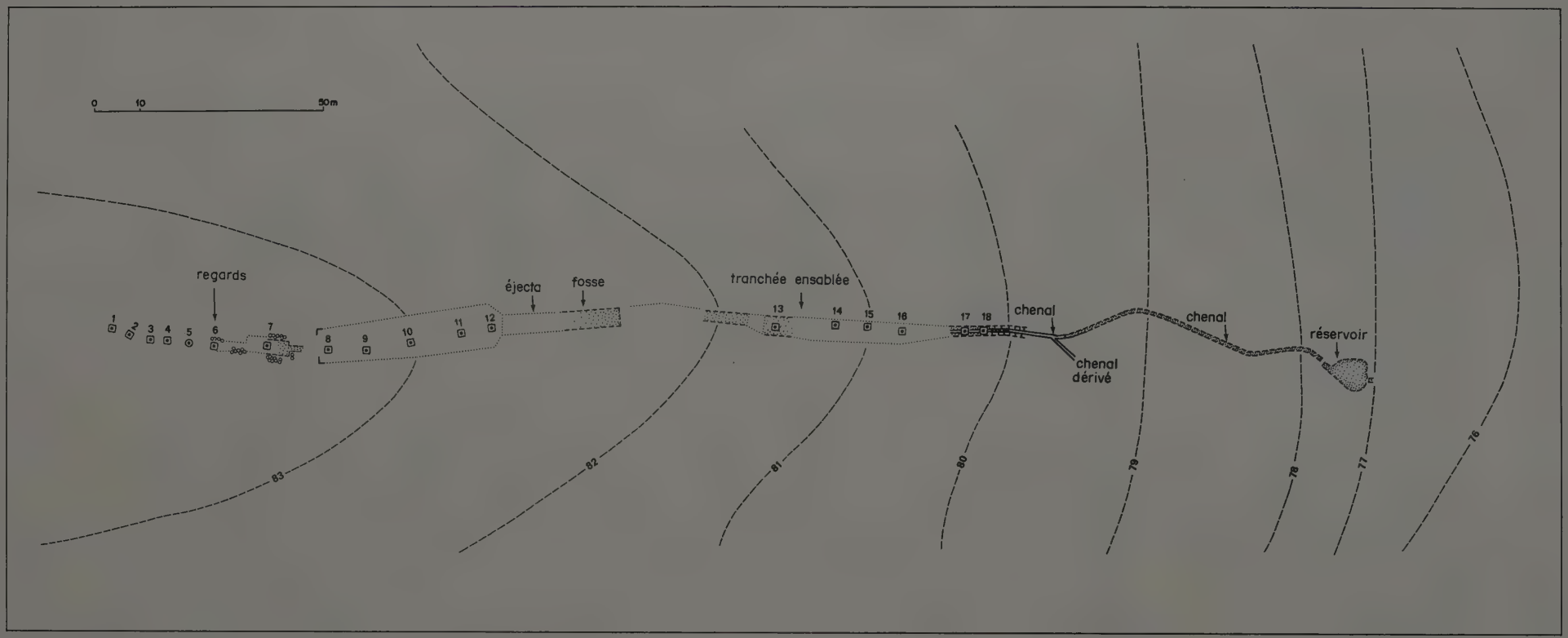


FIG. 30. *Dikura. Plan du* qanat *ouest. (Relevé Ch. Braun).*

SECTEUR DIKURA OUEST

Dans un couloir de déflation (photo 53) entre des buttes profilées a été installé un *qanat* de type kysite dont la structure architectonique est des plus hétérogènes (photos 83, 93, 94, 100, fig. 30). Si la parfaite adéquation de la morphologie à la fonction définit le *qanat* de type iranien, comme certains de type kysite, tel celui à tranchées de Dikura nord, pour lequel la galerie souterraine est atteinte par une succession de descentes verticales, l'hétérogénéité architectonique de ce *qanat* qui le subdivise en segments vise pourtant à la même opération, non à partir d'une galerie, mais d'un drain qui assure la même fonction. Ainsi pourrait-on distinguer les *qanawat* à galerie en tunnel et ceux à drain découvert à l'origine.

Qanat Dikura ouest : longueur totale : 295 m.

Segment	Dimensions	Observations	Caractéristiques
1	L = 17,50 m	À son amont, affleurement de grès. Aucun sondage n'a été exécuté, la profondeur est ignorée.	1 galerie, à 5 regards au centre d'un épandage de graviers quartzeux ; le premier rectangulaire (1,50 m × 0,50 m) et le dernier circulaire (diamètre = 1 m, phot. 93), les autres carrés (1 m × 1 m), tous avec briquetage (phot. 94).
2	L = 9 m × 2 m (18 m²).		1 saignée comblée, à rebords renforcés par des éjecta ; 1 regard amont (1 m × 0,50 m).
3	L = 10 m × 3 m (30 m²).		1 fosse comblée avec 1 regard aval (1 m × 0,50 m).
4	L = 5 m × 2,50 m (12,50 m²).		1 saignée comblée, sans regards apparents.
5	L = 40 m × 5,50 m (220 m²).		1 fosse comblée avec 5 regards carrés, et briquetage. Bordures à éjecta nivelés.
6	L = 26,50 m × 4 m (106 m²).		1 fosse à bords en limon, comblée, sans regards apparents.
7	L = 30 m × 2,50 m (75 m²).		1 saignée comblée sans regards.
8	L = 42,50 m × 7 m (297,5 m²).		1 fosse comblée. Rebords à éjecta et blocs de grès et 5 regards (les 3 premiers : 1 m × 0,50 m et les deux derniers : 0,75 m × 0,50 m, phot. 94).
9	L = 7 m × 2 m (14 m²).		1 saignée avec encastré un chenal couvert de briques et de dalles de grès et 2 regards (1 m × 0,50 m).
10	L = 5 m × 2 m (10 m²).		1 saignée avec voûte de briques couverte d'un enduit en limon, encastrée dans un briquetage.
11	L = 10 m × 0,50 (5 m²).		1 saignée à l'air libre avec briques et grès de calage comme bordure.
12	L = 60 m × 0,50 m (30 m²).		1 saignée à l'air libre, sinueuse, creusée dans les grès et le limon ; avec un court passage couvert à l'aval.
13	L = 7 m × 7 m (49 m²).		1 réservoir creusé dans les limons. Rigole de sortie.
14		Très mal conservé.	1 vasque de retenue à bourrelets convexes en argilite violacée, traces d'imprégnations ferrugineuses et rigole de sortie ensablée et encroûtée.
15		À 115 m de l'amont sur la rive gauche de la qanat principale.	1 tranchée (2 m × 0,50 m) à 33 m de la qanat, regard unique d'une qanat tributaire ou simple sondage de prospection ?
16	L = 7,50 m × 0,50 m (3,75 m²),	À 200 m de la tête de la qanat, sur la rive droite.	1 saignée de dérivation diffluente, à l'air libre (phot. 105). 1 regard tranchée.

Seul le premier segment amont est conforme à la galerie de type iranien, hormis l'absence des tertres, car les suivants présentent une succession d'excavations comblées et à largeur différente (fosse et saignée). On peut supposer, à la vue des regards et des briquetages multiples repérés, que le drain à l'air libre, au départ, a été, par la suite, mis à l'abri sous un briquetage, lui-même enterré.

3.11.2 TELL-DOUCH

À Tell-Douch, trois *qanawat* ont été partiellement exhumés ou fouillés (photo 101). Aucun n'est semblable à l'autre. Certains sont voisins de ceux de Dikura. Certains ont incorporé dans leur tracé des puits artésiens dont l'orifice aurait été modifié en cheminée d'accès (photo 204, secteur des puits dans l'axe du temple en pierre).

TELL-DOUCH EST Sur la face est du *tell*, en contrebas du temple en pierres, à la limite des habitations, a été retrouvé un *qanat* (fig. 31) dont seule la partie la plus aval a été dégagée (photos 106 à 116).

Le secteur à l'amont présente des tertres (photos 106, 107, 108) qui camouflent des regards ; à l'aval, le drain devient une saignée cachée sous un habillage de briques (photo 111). Il se termine par une rigole (photo 114) qui bute contre une accumulation sableuse jonchée de tessons de céramiques tardives. Au delà de l'amas dunaire, après un coude à angle droit, se poursuit l'hydragogue à support de grès.

La partie dégagée est exemplaire d'une saignée à tracé sinueux (photo 106), à l'intérieur de laquelle est encastré un coffrage de brique (photos 110, 111) destiné à couvrir le drain évidé dans le grès. Pour la partie fouillée partiellement (180 m), quatre regards ont été dégagés, en amont, à la base du versant du *tell*. Le plus haut appartient en fait à une branche confluente, oblique au drain principal. En revanche, ce dernier a été foré dans la butte, en direction du temple en pierres. En aval de la bifurcation, les trois regards restants (photos 108, 109) appartiennent au drain principal. Ils apparaissent sous l'aspect d'un briquetage à sept assises pour une ouverture rectangulaire de 2 m × 0,75 m, dont le couronnement est un enduit lissé imitant la brique (photo 111). Ils sont installés sur le coffrage qu'ils interrompent (photos 111, 112). Dans l'intervalle, ce dernier est intact, hors un passage où il est effondré dans la saignée. Son aspect extérieur a une forme de dôme à pans coupés revêtu d'un enduit. À l'intérieur, la forme est celle d'un triangle construit à partir de deux briques apposées obliquement (photos 111, 112, 113).

Le secteur plus aval est différent. La saignée est couverte par une protection en briques, à plafond triangulaire, qui repose sur un briquetage latéral à six assises, lui-même appuyé sur le grès. Plus en aval, la couverture qui subsiste est constituée par des briques posées à plat (photos 114, 115). Elles s'appuient sur des butées latérales en briques, et sur une assise inférieure faite de blocs de grès (photo 115). Le dernier secteur est bordé de levées de grès qui simulaient avant leur dégagement les levées d'un aqueduc (photo 106).

Segments	Caractéristiques
segment 1	Drain à coffrage avec regards et embranchement latéral (phot. 108 à 110).
segment 2	Drain couvert, plafond triangulaire (phot. 112, 113).
segment 3	Drain couvert à voûte plate (phot. 115).
segment 4	Drain à levées de grès (phot. 114, 115).
segment 5	Rigole en auge, support d'un hydragogue et dune (phot. 114).

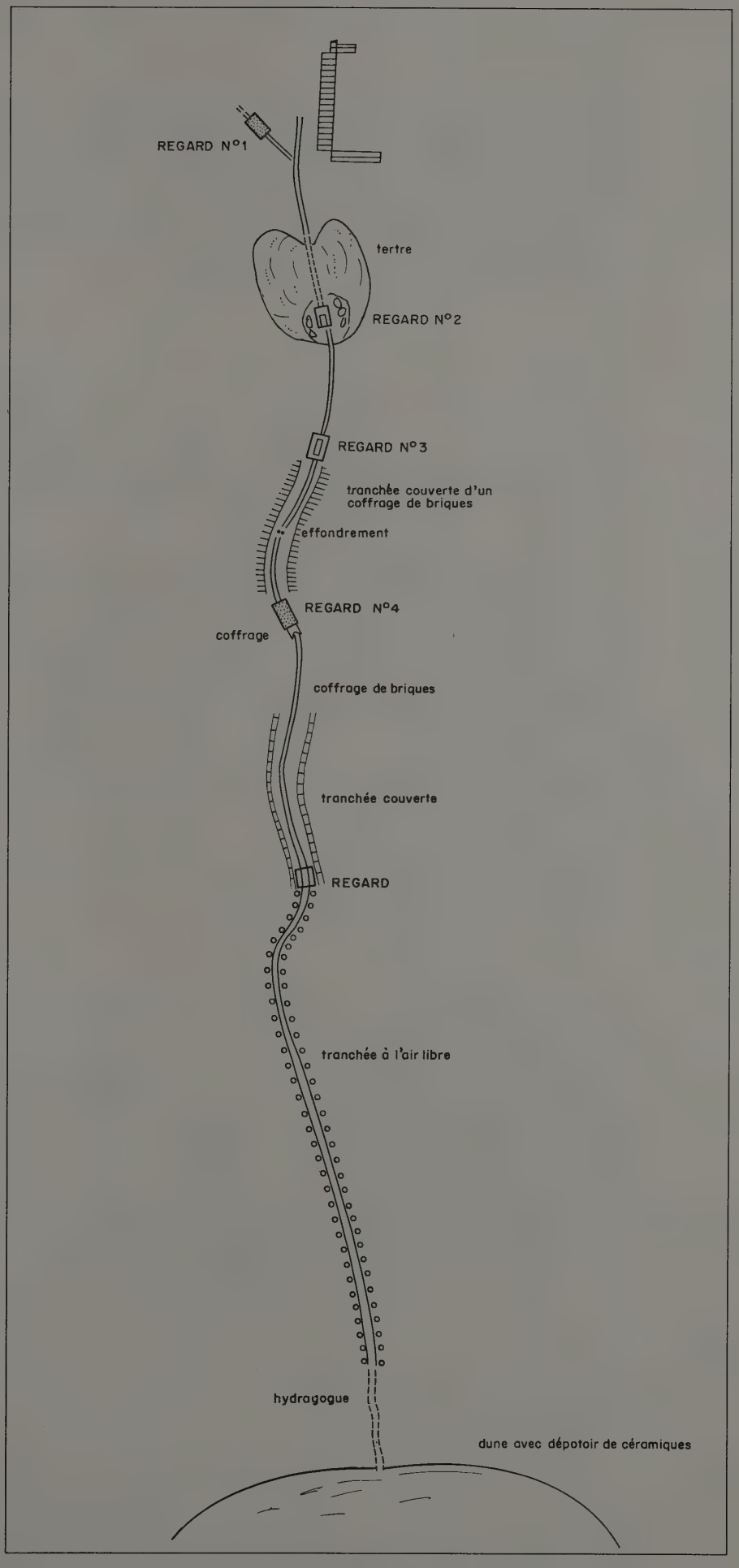


FIG. 31.
Plan du qanat *de Tell-Douch est. (Relevé Ch. Braun).*

La semelle concave à limon induré de l'hydragogue semble être un aménagement tardif (photo 114), alors que le *qanat* semble avoir été déjà abandonné. La galerie a livré des pots, parfois entiers qui se situeraient dans l'époque moyenne de l'occupation (Ier siècle après) [241]. L'aménagement des bords de la saignée est semblable à l'arrangement des bords de celle du *qanat*-fosse, à Dikura ouest. Le style architectonique de ces équipements pourrait avoir ainsi une certaine valeur chronologique.

TELL-DOUCH NORD Deux autres *qanawat* ont été sondés et partiellement fouillés. Le premier est situé dans un des couloirs du piémont, dans l'axe du pylône du temple en pierres (photo 117); le second détermine un couloir de piémont orienté comme l'axe du temple anépigraphe en briques (photo 109).

• *Qanat à saignée*, 50 m de longueur, (fig. 32)

Pour le secteur reconnu, l'équipement se compose d'un segment amont constitué de trois regards repérés à la surface nivelée des limons gris et séparés par un passage en galerie (L = 7,50 m) en partie coudé. Le premier est très détruit. Le deuxième est trapézoïdal (2 m × 1,75 m ou 1,50 m). Le troisième est rectangulaire (2,50 m × 1 m). La galerie (photo 92) a été partiellement déblayée. Sa partie haute, une voûte surbaissée, est taillée dans le grès qui porte sur sa face externe une double encoche, la trace des cordes par lesquelles étaient hissés les couffins de déblais, au moment du creusement, ou bien la trace d'exhaure de l'eau avant que ne soit réalisée la couverture en briques.

Le segment aval est une saignée (longueur = 60 m, largeur = 0,40 m), couverte d'abord par un blocage de briques encastré sur un mètre de profondeur et sur une longueur de 10 m; au delà, la saignée se poursuit à l'air libre selon un tracé très abîmé disparaissant sous des méga-rides de sable.

• *Qanat à fosses* (fig. 33)

Dans l'axe du temple anépigraphe s'allonge un *qanat* composite, maintenant reconnu sur une assez grande longueur de son tracé (photos 2, 13, 118, 120, 121). L'eau qu'il drainait était destinée au parcellaire nord de la plaine de Tell-Douch. Le caractère principal de cet équipement, inapparent de nos jours en raison de son ensablement, réside dans sa dimension monumentale qui en fait, par la coupure qu'il y inscrivait, un élément architectonique à l'échelle du site.

Sa partie amont est du type galerie à tertres. Elle débute en contrebas de l'enceinte du temple. Elle se signale par deux cônes à cratère ensablé et à talus de grès, et, plus en aval, dans les limons gris, par un tertre détritique qui recouvre en partie le briquetage d'une cheminée d'accès, simulant une entrée de puits couverte.

[241] Renseignement oral de Pascale Ballet.

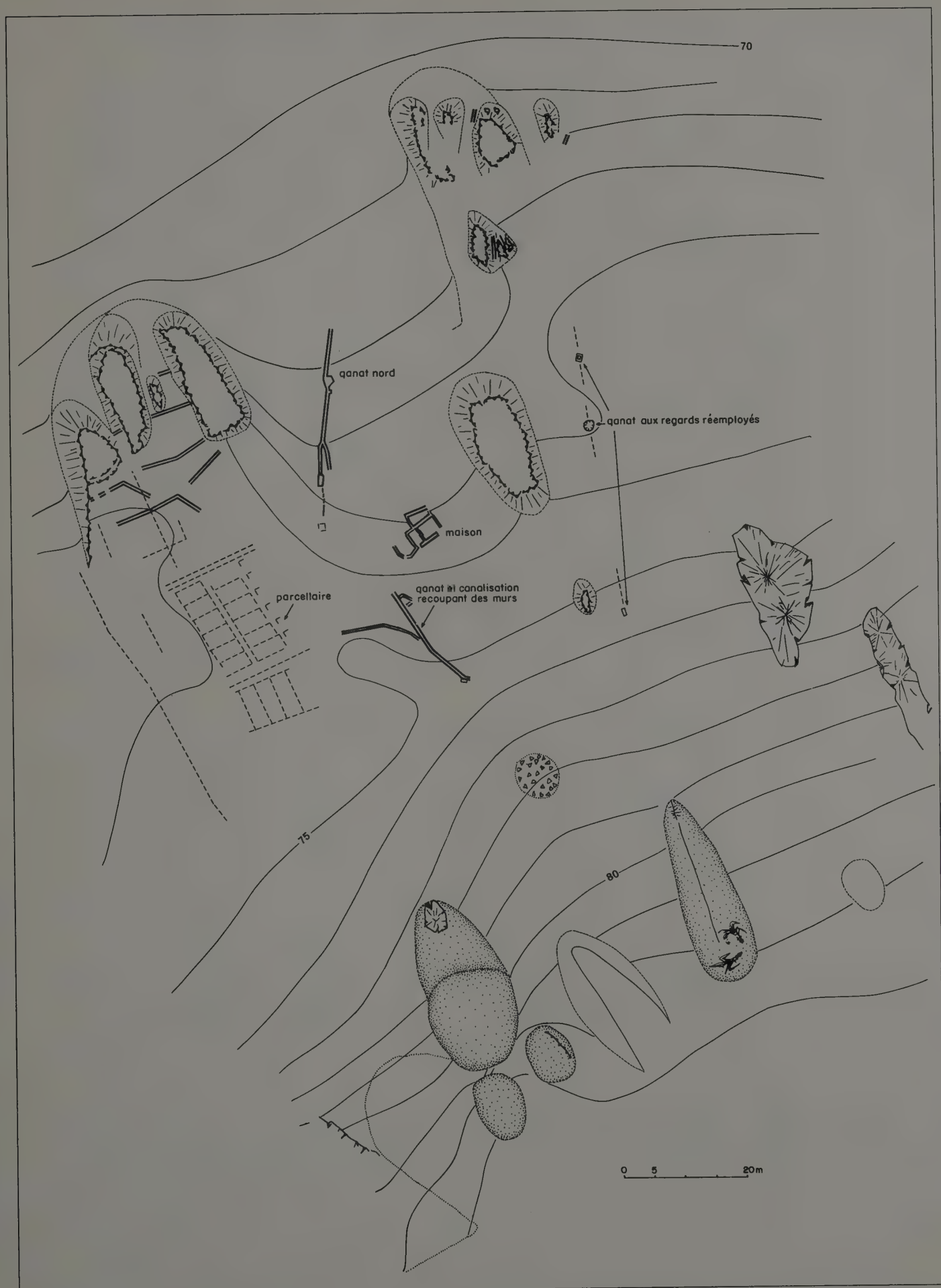


FIG. 32. *Tell-Douch. Plan du palier nord. (Relevé Ch. Braun).*

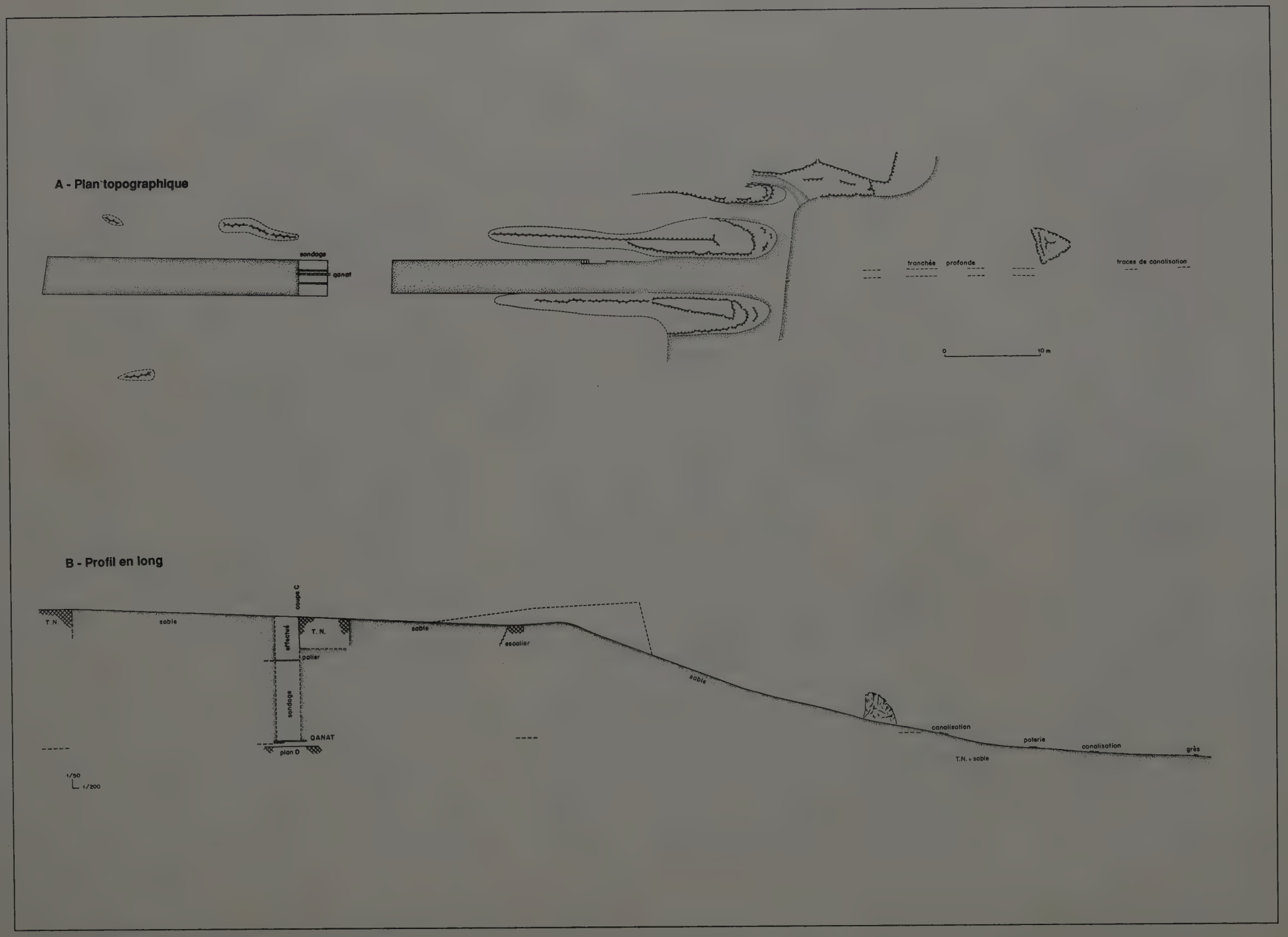


FIG. 33. *Plan du* qanat *à fosse de Tell-Douch. (Relevé Ch. Braun).*

La partie aval sondée en plusieurs points s'étend au pied du *tell*. Elle se repère au corridor qui a été aménagé entre les buttes profilées (photo 118), elles-mêmes toujours recouvertes par les déblais des excavations qui singularisent cet ouvrage. Ce segment associe en effet deux fosses entièrement excavées dans le limon. La plus amont a été sondée sur toute sa profondeur, à la hauteur de sa limite aval (photos 13, 90).

La première fosse (38 m × 4,50 m = 171 m^2) présente une forme subdivisée en une partie haute (largeur de 4,50 m) jusqu'à un palier (1,50 m de large) et une partie basse (largeur de 1,50 m) au fond de laquelle a été retrouvée la canalisation en place (photo 119, fig. 27). Il s'agit de cylindres tronconiques de terre cuite à parois épaisses (1,5 cm), d'un diamètre intérieur de 19 cm; d'un diamètre complet de 22 cm, emboîtés les uns dans les autres. Les paliers (photo 90) se situent à 1,50 m de profondeur, à hauteur du sommet du tunnel (L = 8,50 m, h = 4,50 m) qui relie les deux fosses. Connaissant les dimensions de la fosse, on peut évaluer à 513 m^3 le volume des déblais [242]. Si la deuxième fosse présente la même géométrie, on peut estimer la masse de déblais totale extraite à 513 m^3 × 2 = 1026 m^3.

La seconde fosse est, en effet, la jumelle de la précédente (40 m × 4,50 m, avec une profondeur déduite d'un peu moins de 7 m). Sur son côté gauche a été dégagé le départ d'un escalier, aux marches taillées dans le limon (fig. 33).

Le secteur final (L = 80 m) est composé d'une suite de tranchées (3 à 4 m × 1,50 m), à la profondeur décroissante vers l'aval, et séparées par des tunnels. Dans le fond de chacune de celles qui ont été désensablées, la canalisation est toujours en place. Les cylindres éventrés étaient fossilisés par du sable induré par l'eau fuyant aux jointures des éléments (photos 120, 121).

La pente du profil en long du drain a pu être calculée de l'aval de la première fosse à son point d'émergence à la base du versant, soit sur 147 m, pour une dénivellation de 0,91 m, une pente de 0,60 ‰.

Segments	Emplacement	Caractéristiques
Segment 1	Partie amont intéressant la pente de la colline (phot. 115).	*Qanat* de type iranien, à puits et tertres aux ouvertures briquetées.
Segment 2	Partie médiane, installée sur le palier intermédiaire du piémont.	*Qanat* à fosses, dans le piémont atténué par 8 m de limon gris (phot. 2, 13, 90, 119).
Segment 3	Partie aval.	*Qanat* à tranchées traversant des buttes profilées de piémont (phot. 118).
Segment 4	Sortie de *qanat*.	*Aqueduc* évidé dans le limon gris conduisant l'eau vers le parcellaire de plaine proche (phot. 121).

[242] Le palier la décompose en deux unités, pour lesquelles le volume respectif est curieusement, mais peut-être intentionnellement, de 256,5 m^3 (L = 38 m × l = 4,50 m × h = 1,50 m pour la partie supérieure; et L = 40 m × l = 1,50 m × h = 4,50 m pour la partie inférieure).

3.11.3 L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES OUVRAGES

La structure de l'ouvrage conduit à des considérations d'ordre technique, utiles pour rechercher ce type d'équipement hydraulique et pour déterminer leur environnement au moment de leur utilisation (fig. 34). Les descentes verticales creusées dans la formation Taref sont à l'origine des cônes détritiques de type iranien. En revanche, dans les limons, leur sommet est systématiquement consolidé par un briquetage. Des murs soutiennent les fronts de taille qui ont tendance à s'écrouler, en fonction des fentes de dessiccation qui découpent le matériel [243]. On peut se demander si la technique des fosses, des tranchées et des saignées n'est pas en définitive contingente à la présence des limons. On peut penser que ces différentes excavations se sont imposées comme les formes les mieux adaptées à ce faciès, malgré l'inconvénient d'être exposées à l'ensablement. La fosse, par ses dimensions, dispense du briquetage de soutien, indispensable pour la saignée. Leur habillage est-il la preuve d'un changement dans les conditions du milieu au cours même de l'occupation des sites ? Peut-on en déduire une chronologie relative avec dans un premier temps les *qanawat* à excavations ouvertes, puis les *qanawat* à excavations couvertes et les *qanawat* de type iranien ; enfin, le dernier stade est-il l'obturation des regards (photo 122) ?

Leur conception a pu s'imposer immédiatement. Ou bien leur emploi a-t-il découlé d'expériences malheureuses, à la suite d'effondrement ? Pour les saignées, un recouvrement de briques a pu ainsi remplacer la voûte de limon trop fragile. Le briquetage de consolidation n'apparaît qu'en fonction d'une certaine épaisseur des limons, au moins le mètre. Cependant, les bords des ouvertures, qui relèvent pourtant de ce cas de figure, n'ont pas été renforcés. Pour certains, l'absence de tout briquetage explique le gabarit plus large de leur béance. L'équipement n'a donc pas atteint partout le même degré de finition (photos 99, 100, 101). Ou bien son achèvement se faisait-il progressivement en fonction de la situation de chaque regard (photo 123) ? Autre question : tous les segments qui composent un *qanat* sont-ils contemporains ou bien leur différence de style ne traduit-elle pas dans le temps un allongement progressif de la galerie ? L'ensablement de l'ouvrage a été facilité, semble-t-il, par la destruction d'une partie du briquetage. La présence d'une à deux assises de briques qui haussant le couronnement au-dessus du sol s'opposaient à la pénétration du sédiment, se prouve *in situ* à partir de leurs témoins amincis par la déflation ou à partir de leur emplacement qui réduit à l'état de fantôme est délimité par un jointoyage (ou jointement) en limon encore en place (photo 94). On verrait donc apparaître cette construction pour les installations les plus exposées à l'arrivée massive du sable. Dans ces conditions, l'ouvrage de briques serait plus récent que l'équipement qu'il protège. De la sorte, le briquetage des accès pourrait avoir deux fonctions. L'une interne, de consolidation pour les secteurs à forte épaisseur de limon ; l'autre externe, de protection contre l'arrivée du sable. Ce dernier cas expliquerait leur présence pour les saignées ouvertes dans le grès. Leur géographie (fig. 19) est celle de la trajectoire des vents chasse-sable [244].

[243] Cf. les blocs éboulés aux flancs des buttes profilées les plus hautes à Dikura, Aïn Ziyada, etc.

[244] Cf. les images SPOT et la distribution des écoulements éoliens en fonction de la répartition des accumulations sableuses et des surfaces lustrées par déflation.

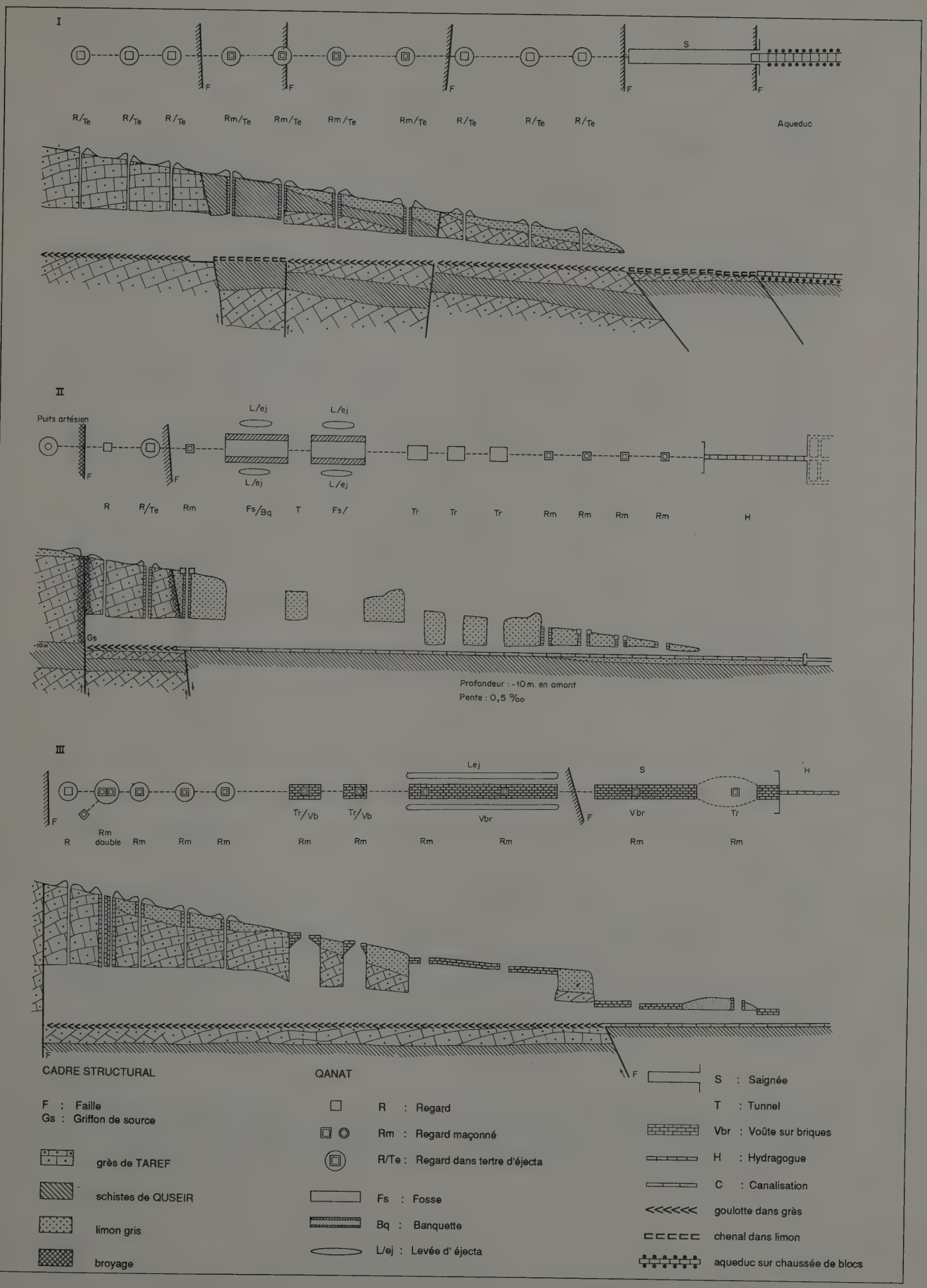


FIG. 34. *Les différents types de* qanat.

3.12 LE PUITS-RÉSERVOIR

Avec ce type d'équipement et le suivant, la différence est moins de forme que de fonction. Pour ce cas précis, le *qanat* semblable aux autres a pour finalité d'alimenter un puits et non pas d'assurer directement l'irrigation d'un parcellaire.

En effet, dans le cratère du puits (photo 104), à sa paroi amont, débouche un *qanat* à tranchée qui fournit l'eau (Dikura nord). Les parois de la cuve sont recouvertes d'un enduit épais de plus de 30 cm. L'argile soigneusement triturée et damée a la consistance et sans doute les qualités d'un ciment hydraulique (fig. 29).

Un tel aménagement semble prouver l'affaiblissement du débit et l'utilisation de la cuve du puits comme d'un réservoir intermédiaire capable d'alimenter le chenal d'évacuation. Un tel dispositif est signalé dès l'Ancien Empire [245]. Il date l'apparition de ce type d'équipement. Il fait dépendre la galerie drainante d'une technique dont un des berceaux d'origine serait non seulement l'Iran, plus spécifiquement l'Ourartou, pays où fut inventée la galerie de mine, mais peut-être également l'Égypte, pays aussi de carrières, de mines et d'hypogées à puits et chambres souterraines. Toutefois, un drain souterrain évidé en bordure d'une dépression n'est pas tout à fait l'homologue du *qanat* d'Iran qui capte une nappe de piémont, unité géomorphologique spécifique du domaine montagnard.

En conséquence on peut se demander si la technique du *qanat* est imposée de l'extérieur ou si localement il n'existait pas un mode de drainage très proche, préférant pour des raisons lithologiques au tunnel continu la série de fosses que relient de courts passages souterrains ?

3.13 LE PUITS-QANAT

Le drain d'évacuation à l'aval du puits (photo 114) n'est pas une tranchée à ciel ouvert, mais une galerie que jalonnent ses regards (Dikura nord). Le puits semble avoir recoupé le tracé d'un *qanat* et réutilisé, pendant un certain temps, son segment aval pour évacuer l'eau de sa cuve (fig. 29).

Ces deux dernières installations associent deux équipements généralement autonomes, même s'ils sont concomitants (Dikura). Elles s'adaptent à des modifications qui ont affecté la circulation vadose de l'eau dans les grès, la roche-magasin des nappes phréatiques.

Il s'agit d'évaluer à quelles échelles de temps et d'espace s'établissent ces fluctuations d'alimentation. De même, l'amoindrissement du débit des sources et des nappes, dont le tarissement est la conséquence irréversible du passage d'un seuil [246], est-il d'ordre local et

[245] Jaubert de Passa, *Recherches sur les arrosages chez les peuples anciens*, Paris, (1846)-1981 ; J. Bonnin, *L'eau dans l'Antiquité. L'hydraulique avant notre ère*, Paris, 1984.

[246] La remise en eau des installations les mieux conservées est illusoire, comme furent vouées à l'échec les tentatives d'implantation de palmiers à Tell-Douch et Aïn Ziyada.

conjoncturel en relation avec l'effacement d'une période d'optimum climatique légèrement plus humide et plutôt centrée sur les premiers temps de l'occupation, ou bien cet épuisement des réserves est-il d'ordre hydrogéologique et paléoclimatique ? Dans ce dernier cas, l'abaissement irrémédiable des nappes se serait effectué progressivement au cours de la période gréco-romaine d'occupation du site. Le manque d'eau résulte de l'épuisement d'un patrimoine hydrogéologique surexploité, en raison du développement des parcellaires de plaine, tenus de répondre à des sollicitations nouvelles.

Comme les oasis actuelles se maintiennent grâce à des forages profonds, se confirme l'assèchement de la partie supérieure des roches-magasins depuis l'Antiquité, à quoi s'ajoute l'accentuation de l'aridité climatique [247]. L'ensablement progressif des installations, indice d'une aridification du milieu, pourrait dater de la période même de l'occupation des sites. Il aurait entraîné l'abandon des installations les plus exposées et introduit les modifications architectoniques constatées. En effet, aucun matériel daté de la période tardive du Bas-Empire n'a été trouvé jusqu'à présent au fond des tranchées [248]. Les plus récents ne dépassent pas le Ier-IIe siècle après J.-C.

3.14 LES RÉSEAUX

La répartition des installations peut être faite par site. Mais à l'échelle de ces derniers, la concentration et le groupement des équipements s'effectuent en fonction de secteurs distincts. Leur nombre et les usages qu'ils assument aboutissent à la constitution de réseaux dont il est difficile d'évaluer le degré de cohérence. Il serait pourtant intéressant de l'établir, car il est possible que la disjonction des éléments de ces labyrinthes soit à l'origine de l'abandon des parcellaires, de la rétraction des terroirs et de l'affaiblissement du rôle des sites devenus inaptes à assurer la survie des oasiens ou leur rôle économique local et régional.

3.14.1 AÏN BOREQ

Aïn Boreq (photo 12) présente le groupement le moins complexe. À trois puits se joignent au moins quatre *qanawat* à galerie et regards à cheminée de briques, ouverts dans la butte de grès atténuée de limon gris. Des hydragogues se dirigent vers le parcellaire d'oued (photo 12). En bordure du parcellaire, un drain principal semble avoir été démultiplié en conduits secondaires, installés sur des assises de grès, repérables désormais à la dispersion de leurs blocs qui ont institué un pavage incongru, sur le bas de pente.

[247] La région fait partie du domaine hyperaride saharien à précipitations inférieures à 50 mm/an.

[248] Cette céramique dite banale et par principe diachronique ne permet pas d'établir une chronologie très fine. Cependant, puisque sans cesse renouvelée dans la permanence de ses formes, un essai de datation radiométrique permettrait sans doute d'établir la période de son utilisation ainsi mieux située dans la longue durée de l'occupation. Cette céramique diachronique est en fait d'âges multiples et comme un phénix renaît sans cesse de ses propres tessons.

Sur la face sud de la butte, des regards qui signalent l'existence d'une galerie, se dirigent vers une fosse-réservoir que prolonge une saignée-exutoire (fig. 35). Il apparaît qu'à la fonction agricole, pourrait s'ajouter une autre, peut-être celle d'un point d'eau au départ d'une piste vers la vallée du Nil. Des fosses isolées près des puits pourraient être des abreuvoirs [249].

3.14.2 AÏN ZIYADA

Aïn Ziyada présente des équipements hydrauliques installés sur la butte même (photos. 8, 9, 79, 80, 81, 98, 126). Le réseau (fig. 36) combine puits et *qanawat*. Il se subdivise en deux groupements situés à l'est, sur la face nord, à proximité de l'ancien village, et tout au long du revers sud qui ne comporte en revanche aucun bâtiment. Dans sa partie centrale, cette pente compte plusieurs puits non aménagés à proximité desquels sont éparpillés de nombreux silex travaillés. On y repère aussi un long soubassement d'hydragogue graduellement perché au-dessus de la plaine ensablée, exutoire d'un réservoir creusé à l'intérieur d'une butte profilée.

Au delà, plus au sud, dans la plaine, s'étend un complexe dunaire au centre duquel se situe le puits éponyme du site. S'y trouvent également des buttes de lœss. Sur le flanc de l'une d'entre elles s'observe à mi-hauteur la trace d'un hydragogue, comme se remarque un tertre réduit à une crête étroite sur laquelle ne se maintient plus que le vestige d'un unique mur en équilibre (photo 8).

Sur sa face nord, dans la partie centrale, la butte présente les traits hydrogéologiques caractéristiques de fortes venues d'eau (faciès schisteux informe) qui ont été utilisées plutôt comme des points d'eau (traces d'éjecta) que comme des puits à fonction agricole. Enfin, à la base de ce versant s'observent encore les restes d'hydragogues détruits (conduits brisés de terre cuite et support de grès). Mais nulle part, à cause de l'ensablement, la liaison entre les points d'eau et les parcellaires ne peut s'observer.

D'est en ouest, sur la face sud très ensablée, on relève la présence d'une douzaine d'équipements hydrauliques :

- 1 *qanat* à cinq tertres, à quatre regards en briques (de 1 m × 0,55 m chacun) et hydragogue perché au-dessus de la plaine, à la limite ouest des habitations. Exemple unique de l'association d'une galerie de type iranien à une galerie de type local (photo 79).
- 1 regard présent sur le bourrelet structural qui cerne à son pied la butte sur cette face. Élément évident d'un *qanat* difficilement repérable dans sa totalité (photo 8).
- 1 regard entre deux tertres naturels qui relèvent toujours du bourrelet structural d'argilites lie de vin. Élément isolé d'un *qanat* au tracé mal repéré.
- 1 fosse ceinturée de ses levées à éjecta avec un regard en briques, face au réservoir situé dans la plaine.
- 2 tertres à flanc détritiques dans un secteur très ensablé à petites nebkas (photo 80).
- 1 puits isolé (photo 81).
- 1 regard sur butte profilée recouverte partiellement d'éjecta (photo 81).

[249] À la limite de la steppe en Syrtique, aujourd'hui, on trouve à côté du puits de tels abreuvoirs une cuvette creusée à même le sol et imperméabilisée par une feuille de P.C.V. (plastique) que récupère le chamelier après que ses bêtes se sont désaltérées.

– 1 regard (1 m × 0,55 m) présent à mi-pente du long revers ensablé de ce secteur médian, indice d'une galerie au tracé difficile à retrouver.
– 1 *qanat* à cinq regards, successivement d'amont en aval :
(1) = 0,90 m × 0,47 m (3) = 0,90 m × 0,53 m
(2) = 0,90 m × 0,43 m (4) = 0,90 m × 0,57 m
(5) = 0,60 m × 0,55 m (fouillé partiellement).
À proximité, on trouve un campement de plein vent caractérisé par deux fours plats, un foyer de cendres et une fosse.
– 1 *qanat* à cinq regards, successivement d'amont en aval :
(1) = 0,90 m × 0,47 m (3) = 0,90 m × 0,53 m, dans une butte profilée
(2) = 0,90 m × 0,43 m (4) = 0,90 m × 0,53m
(5) = 0,90 m × 0,50 m (photo 98).
– 1 *qanat* se composant d'un segment à trois regards, d'un tertre à éjecta sans regard apparent, de deux regards dans le même tertre, d'un regard (1,06 m × 0,55 m) d'un dernier regard sur tertre (1,24 m × 0,60 m).
– 1 *qanat* à deux regards : (1) = 0,80 m × 0,55 m et (2) regard elliptique : axe 0,60 m.

Sur la face nord, à son extrémité est, on compte onze *qanawat*.
– 1 regard rectangulaire repéré dans un secteur de dunes.
– 1 *qanat* présentant en amont un tertre avec deux regards à cheminée de briques, puis un autre tertre à trois regards à cheminée de briques, dont un obturé par de l'argilite.
– 1 *qanat* débutant par un regard encastré dans un gros œuvre à limite circulaire dont le mort-terrain rapporté s'appuie sur une fondation de blocs de grès et une assise de mottes grossières, suivi d'un regard elliptique, puis de trois regards rectangulaires dont l'un est double de part et d'autre d'un tertre détritique (photos 87, 88, 96, 97).
– 1 ensemble de douze regards sur un versant à limon découpé par de grandes fissures de dessiccation, avec ou sans parement de briques. Il s'organise sur une bande relativement étroite, en quatre alignements parallèles. Les regards ont des formes rectangulaires à l'exception d'un triangulaire. Leurs axes sont orientés selon la pente ou transversalement (photo 9).
– 1 tertre d'éjecta (photo 89).
– 2 regards isolés.
– 1 *qanat*-galerie repéré par trois regards-tranchées établis dans un couloir de déflation (photo 54).
– 1 regard-tranchée isolé.
– 1 regard en contrebas d'une butte profilée, perchée sur le soubassement de grès et couverte de déblais lie de vin.
Enfin un groupe de puits artésiens, plus à l'ouest, alignés en piémont de butte.

Aïn Ziyada se caractérise par la présence de deux réseaux dont une partie, dans la plaine sud, semble avoir été démantelée par la déflation éolienne. Aucune autre fonction n'est associée à celle de l'irrigation.

Les dunes qui ont envahi le puits de la plaine méridionale gênent la prospection. Mais il est évident que ce point d'eau a été un des éléments du réseau. En outre des vestiges de construction font supposer que cette dépression fut un des tout premiers secteurs mis en valeur en ce lieu.

Sur le piémont nord subsistent les restes modernes d'un essai de culture. On retrouve une habitation élémentaire et les restes d'un parcellaire récent totalement ensablé. La défense de ces champs subsiste sous l'aspect de haies de palmes. Ce parcellaire s'est installé sur l'emplacement des parcellaires de l'Antiquité, comme le prouvent des vestiges d'hydragogues à son voisinage.

3.14.3 DIKURA

À Dikura, les installations se répartissent de part et d'autre de la ligne de faîte. Leurs drains devaient servir à irriguer des parcellaires (photo 127) dont on ne peut plus observer les traces que très occasionnellement, car les dépressions où ils se situent sont recouvertes, au nord, par des nebkas à tamarix (photos 33, 34) en cours de déchaussement, fixées parfois sur des puits aménagés, et, au sud, par des nappes de sable et des *barkhanes* récentes. Cependant on retrouve des restes ruinés de conduits ou de supports d'hydragogue (photo 128, nord), comme des vestiges d'enclos aux murs d'argilites bourrés de tessons et de fragments de conduits. Une occupation humaine temporaire est donc certaine.

Dans les couloirs de déflation interdunaires, des traces de champs ont été repérées grâce à l'argile indurée du fond des sillons d'irrigation et à l'itinéraire contourné qu'ils organisaient entre les billons arasés depuis par déflation (photo 127). À proximité, des puits (tessons) montrent leur cuve ensablée et colonisée par des tamarix ou des palmiers doum. Des restes de mur et une citerne témoignent de l'aménagement agricole de ce secteur (Dikura est).

Les parcellaires ensevelis sous les sables se trouvent logiquement à la périphérie nord de ce château d'eau peu élevé. D'eux ne subsistent que leurs digues de ceinture aval sous la forme d'une levée au delà de laquelle s'étendent des encroûtements. Plus à l'est, en direction d'Aïn Ziyada, le long de la piste, des diguettes délimitent de grandes étendues plates dont se repère toujours le quadrillage des levées internes. Mais on ne peut savoir précisément de quelles installations hydrauliques dépendaient ces terroirs. Aucun puits n'est en effet proche de ces parcellaires de plaine, et aucun *qanat* n'y a été repéré. Enfin, pour le secteur sud, un long cordon de sable subdivisé en *barkhanes* à son extrémité empêche tout repérage.

La face nord du seuil (photo 11) est jalonnée de puits et de *qanawat* dont le drainage est orienté vers le nord, soit d'est en ouest (fig. 29) :

- La trace d'un hydragogue branché sur un puits avec palmiers-doum, dans un secteur très ensablé et parcellaire à proximité (photo 128).
- 1 puits avec une sortie aménagée.
- 1 puits avec fosse, puis regards de galerie.
- 1 galerie dont l'axe est oblique par rapport aux suivantes.
- 1 puits à chenal-galerie.
- 1 *qanat* à deux cônes, exutoire d'une fosse amont dérivant de l'accolement de deux puits artésiens aménagés (photo 77).
- 1 *qanat* à six tertres dont le secteur aval disparaît sous les sables.
- 1 puits à fosse repérable à ses éjecta (photo 71).
- 1 citerne à escalier (partiellement dégagée).
- 1 *qanat* à tranchées, puis à regards briquetés, avec branchements amont et aval et hydragogue et des accès obstrués (photo 91).
- 1 puits à cuves multiples confluentes (partiellement dégagé), photo 124.
- 1 citerne à escalier (fouillée), photo 73.
- 1 puits à cuve simple dont le contour a été délimité par décapage du sable, avec *qanat*-tranchées (dont ont été fouillés la deuxième tranchée d'amont et le déversement de la galerie dans le puits), photos 99, 100, 101, 102, 103, 104, 125.
- 1 galerie à regards sur sa rive droite.

– 1 *qanat* à regards, fosse, saignée et dérivation sur rive droite, avec bassin et vasque et regard-tranchée isolé sur rive gauche (relevé après décapage de surface), photos 83, 93, 94, 105.
– 1 *qanat* avec saignée à couverture de briques et deux structures carrées en briques.
De multiples puits artésiens naturels se situent entre les ouvrages.

À l'est, se présentent des aménagements situés en contrebas de l'abrupt très atténué par les sables, la limite du seuil de ce côté.

– 1 puits à coulée sableuse et deux regards (photo 69).
– 1 citerne ensablée.
– 1 parcellaire.
D'autres puits sont présents entre Dikura et Aïn Ziyada sans qu'on puisse les ordonner dans un réseau cohérent en raison de l'ensablement (champs de dunes-nebkas arrivées à divers degrés de démolition).

La face sud du seuil a été également équipée de plusieurs *qanawat* dont il est difficile de reconstituer le tracé en raison de l'ensablement. Leur repérage se fait à partir des nombreux puits artésiens taris qui caractérisent ce secteur et de dunes arborées développées à l'emplacement d'une source artésienne qui a pu servir de point d'eau.

Dégagé de l'emplacement des *qanawat* par rapport aux puits artésiens, un principe assez général stipule que la galerie située en position bissectrice draine les nappes phréatiques des puits qui l'entourent. Il semble que les puits aient servi de repères pour établir le drain, lequel est tracé souvent en position médiane, en fonction de la répartition spatiale des points d'eau.

Un ensemble très démonstratif s'observe dans la partie sud-est de ce secteur, à proximité d'anciens puits occupés par des palmiers qui émergent d'une nappe de sable très épaisse.

Il associe six regards disposés dans un couloir délimité par des levées basses, soit :

(1) 42 cm × 38 cm (4) 54 cm × 34 cm
(2) 36 cm × 38 cm (5) 40 cm × 40 cm
(3) 34 cm × 38 cm (6) 52 cm × 35 cm.

À quoi succèdent six regards sur tertres, soit :

(7) 61 cm × 38 cm (10) est à double cheminée 133 cm × 82 cm et 60 cm × 38 cm
(8) 95 cm × 82 cm (11) 108 cm × 30 cm
(9) 173 cm × 60 cm (12) 57 cm × 40 cm (photo 74).

À l'ouest, on dénombre 3 autres regards dans un cône, soit :

(1) 100 cm × 45 cm (2) 83 cm × 54 cm (3) 52 cm × 38 cm (photo 78).

À l'est s'observe 1 regard partiellement détruit dans un tertre.
De même à mi-parcours relève-t-on la trace d'un support d'hydragogue s'orientant vers une fosse (?).

Au total, d'est en ouest, on peut distinguer :

– 2 regards à proximité d'une dune perchée sur puits.
– 1 ensemble de 5 regards à proximité d'un puits à dôme évidé.
– 1 ensemble de 3 regards.
– 1 ensemble de 3 regards et, au sud, oblique un alignement de 4 regards, peut-être une galerie avec un branchement latéral ; l'ensemble se situe à l'amont d'un puits.
– 1 fosse puits avec éjecta, regards condamnés et murs de soutènement.
– 1 galerie à 5 regards avec branchement latéral à 2 regards.
– 1 regard isolé au nord duquel peuvent se dénombrer 4 galeries dont il est difficile de déterminer le degré d'autonomie, car des branchements peuvent être toujours possiblement réalisés en profondeur.

L'exécution d'un simple sondage de reconnaissance (cas des regards isolés ?) peut être évoquée lorsqu'aucune cohérence ne se dégage pas vraiment.
- 1 galerie à 7 regards au sommet de buttes profilées fossilisées par des éjecta, ou à leur pied, rectangulaire, carré ou circulaire. À proximité, 3 regards dont un dans une butte artificielle à gros œuvre quadrangulaire, cheminée perchée, regards en contrebas et saignée à couverture de briques complètent l'ensemble (photos 123, 84, 85, 86).
- 1 puits avec céramique de l'Ancien Empire.
- 1 hydragogue à support de grès en contrebas de la limite ouest du seuil avec puits, et aqueduc d'une galerie non repérée.

L'ensemble des installations du seuil de Dikura définit un complexe dont la caractéristique principale est de présenter un système de drainage aux éléments hétérogènes. On remarque que, comme pour Aïn Ziyada, le type iranien y est rare (un à deux exemplaires). Le type local ou kysite prédomine très nettement. Il faut y ajouter les citernes à escalier. Enfin, seul ce site offre l'exemple d'installations pour le rendement desquelles ont été associés des puits et des *qanawat*. Il faut y ajouter la multitude de bouches artésiennes naturelles qui cernent sur toutes ces faces ce dôme de grès surbaissé.

3.14.4 TELL-DOUCH

À Tell-Douch, les terroirs de Kysis se répartissent autour de la colline qui sert de réservoir aux nombreux puits et *qanawat* qui y ont été observés. Le site est caractérisé par de nombreux exemples de puits transformés en cheminée de galerie. L'utilisation agricole de la ressource a dû être complétée par un usage plus domestique et manufacturier. Mais on ne dégage, pour l'instant, aucune spécialisation particulière liée aux équipements et qui les destinerait à assurer tel usage plutôt que tel autre.

Le revers sud a été équipé d'une douzaine de galeries de type iranien ou à fosse, repérées à l'alignement des monticules ou des levées d'éjecta qui accompagnent en surface le drain souterrain. Aucun de ces ouvrages n'a fait pour l'instant l'objet de sondage ou de fouille particulières. D'est en ouest, on peut déterminer plusieurs équipements sur la pente accidentée de chevrons ou de crêtes secondaires d'érosion différentielle que les *qanawat* recoupent et que leurs éjecta recouvrent :

- 1 *qanat* à 12 tertres et un chenal fosse (photo 129).
- 1 *qanat* à 5 puits délimités par des levées d'éjecta.
- 1 *qanat* à 4 bouches à levées continues d'éjecta (photo 130).
- 1 *qanat* décomposé en 2 puits amont dans tertre, 1 fosse à levées d'éjecta, 9 puits entre les levées d'éjecta, un chenal-saignée entre levées.
- 1 *qanat* avec puits amont, 5 tertres et 12 puits entre levées.
- 1 dôme détritique.
- 1 *qanat* avec puits amont, fosse à levées, 4 puits dans cône détritique et un chenal avec dôme occultant un regard (?) dans la plaine.
- 1 puits avec exutoire.
- 1 *qanat* débutant par un tertre amont, suivi d'une fosse à levées, de 4 cônes puits, de 3 tertres-puits (photo 131).
- 1 *qanat* avec puits amont, fosse, 9 puits cônes, 4 puits entre levées, 1 fosse à levées.

– 1 *qanat* à 5 cônes, 1 puits avec un chenal exutoire.
Enfin, plus au sud, dans la plaine, à l'intérieur d'un complexe de buttes profilées, se retrouvent des regards qui signalent la présence en profondeur d'une galerie.
Ces équipements desservaient des parcellaires dont on ne distingue plus que les digues de ceinture.

La face ouest se signale par la présence d'un puits à double évent artésien. En partie recouvert par un monticule d'éjecta de limon en mottes, l'orifice du puits est ceinturé d'un mur (25 m de développement) de briques, qui dessine une forme en crosse, avec un long côté nord et un retour en boucle, côté sud. En amont, dans les dunes fossiles voisines, se trouvent plusieurs sites de l'Ancien Empire.

Le front nord a été également équipé d'installations hydrauliques où les puits ont été modifiés en regards de *qanawat*. Deux d'entre eux ont été partiellement fouillés, ceux situés en contrebas du temple en brique et du temple en pierre (fig. 32). Ce secteur est plus hétérogène que la face sud.

À son extrémité est, il comporte un puits (photo 62) perché à exutoire naturel aménagé qui a dû servir de point d'eau au cours de l'Ancien Empire, si on juge d'après les tessons retrouvés. À sa limite orientale, on trouve dans un couloir ouvert dans le matériel limoneux un hydragogue double qui fait passer l'eau de la face est sur la face nord. À proximité s'aperçoivent des structures en brique. À l'ouest de ce puits a été retrouvé un *qanat* à tranchées dont le drain se termine dans une fosse circulaire (photo 208). Ce puits appartient en fait à un alignement de sources (photo 5) à la base d'un abrupt de ligne de faille et dont on retrouve les exutoires jusque dans le secteur des fours plus à l'ouest. En plus, il est possible que les trois puits échelonnés sur la pente, depuis le parvis du temple en pierre, et dont on retrouve les orifices transformés en regards, aient été incorporés à un *qanat*. Ce dernier pourrait avoir une fonction plus urbaine, domestique et même religieuse (puits du parvis du temple) que les autres destinés à l'irrigation des parcellaires.

Dans le secteur central de cette face nord, on observe dans des couloirs du piémont à buttes profilées :

– 4 regards alignés dont deux avec jarre (réemploi ?) et un dont le couronnement est fait de conduits (photo 133).
– 1 qanat avec trois regards à briquetage et 1 saignée à couverture de briques (fig. 29, 30).
– 1 hydragogue en auge branché sur une sortie de puits (?) (photo 133), dans un secteur complexe où subsistent les restes de nombreux murs recoupés par des installations ultérieures, un édifice à murs de torchis, des champs et des trous pour l'irrigation par canaris (fig. 29).
– 1 *qanat* à puits cônes en amont, fosses et galerie tranchées à l'aval, hydragogue (fig. 33, photos 117, 92).
– 1 qanat à levées parallèles (photos 2, 90, 118, 119, 121).
– 1 qanat à levées parallèles en amont et à puits artésiens en aval (photo 122).

Le secteur le plus à l'ouest de cette même face est affecté de ravines qui portent la trace d'aménagements divers et peut-être successifs (hydragogue, barrage de retenue, *qanat*, puits).

– 4 entonnoirs de réception à éjecta volumineux déposés à leur pourtour, avec soubassement construit. Le premier et le troisième ont été utilisés comme point d'eau ou comme réservoir ; en aval subsistent deux

En amont, une portion de l'abrupt en pente plus régulière porte des foyers de plein vent et des faciès de consumation de végétation en rapport avec des suintements artésiens.

Enfin le versant oriental présente également des équipements hydrauliques (photo 120) du type *qanat* dont le secteur aval de l'un, situé à la hauteur du temple en pierres, a été fouillé. Du sud au nord, on dénombre :

- 1 *qanat* de type iranien avec 1 puits cône en amont et deux levées parallèles, puis très en aval un hydragogue sur chaussée, dans le couloir séparant le *tell* de Dikura.
- 1 fosse à levées que prolonge une galerie relayée par 1 fosse à levées en amont, puis 7 monticules à enveloppes détritiques que prolonge un hydragogue sur support de blocs de grès. 1 drain en dérivation sur la rive gauche (?) car présence d'un monticule détritique et d'un hydragogue sur chaussée.

Puis en contrebas de la ville et du temple en pierres,

- 1 *qanat* avec un secteur amont à 8 monticules détritiques, prolongé à l'aval par une saignée à voûte de briques et saignée découverte, au delà d'une dune édifiée postérieurement qui a servi à fixer un dépotoir de céramiques, un hydragogue (photos 106 à 115, fig. 31).
- 2 supports d'hydragogues en contrebas du temple en pierre, exutoire de *qanat* non repérées sur la pente à la limite du secteur des thermes.

Ces installations convergent dans la dépression qui sépare Tell-Douch de Dikura et dont le secteur aval ensablé a pu être aménagé en terroirs, comme le suggèrent des encroûtements et des bourrelets parallèles de sable (digues de ceinture successives), disposés transversalement à la pente.

Tell-Douch se caractérise par un équipement nombreux. L'eau a été utilisée pour satisfaire des usages différents, en particulier ceux d'ateliers de potiers dont on retrouve les fours sur la colline même (face nord) ou à son pied (face nord et sud). Des encroûtements localisés (face nord) et casuels, qui peuvent leur être associés, confirment cette utilisation.

3.14.5 AÏN MANAWIR

Aïn Manawir se signale par la présence de *qanawat* et d'hydragogues de très grandes dimensions. Le site se caractérise en effet par le gigantisme de ses équipements qui pourrait être en relation avec le débit de puissantes sources artésiennes. Les résurgences ont donné naissance à des dépôts ferrugineux qui comblent les fissures des buttes profilées. La cimentation et l'induration de leur remplissage de sable ont entraîné un cloisonnement interne du sédiment, qu'ultérieurement la déflation éolienne a mis au jour en dégageant et mettant en relief ces dépôts de fissure, d'un fer ocre-sombre (photo 16). En conséquence, les sources suintantes l'emportent sur les bouches éruptives, en raison de la fracturation intense du matériel que son découpage en lames a transformé en une série de barrages plus fissurés qu'étanches.

L'importance de ces traits hydrogéologiques si particuliers rend compte du gigantisme des *qanawat* (photos 4, 74, 75, 76) dont le parcours souterrain est jalonné par des buttes détritiques très élevées, ainsi que de la massivité des supports d'hydragogues faits de blocs de grès siliceux imposants. De même peut-on ajouter l'énormité de certaines des conduites

en forme d'auge ou de tube qui, pouvant atteindre un mètre de long, pour une section de 49 cm, présentent les plus grandes dimensions mesurées sur les sites (photo 134).

Le décompte des installations est difficile à faire, car la colline est envahie, autre trait de ce gigantisme qui la qualifie, par des *barkhanes* volumineuses. On peut déjà souligner que le type iranien prédomine, à la différence des autres sites, ainsi que le relatif petit nombre de galeries. Les débits plus abondants compensaient-ils l'obligation de multiplier les installations comme à Dikura ?

À l'est, le relief est équipé de six *qanawat* de type iranien à chapelet de cônes, qui alimentent en eau les parcellaires proches. Des aqueducs, dont les trajets rectilignes sont matérialisés par leurs éléments en forme d'auge, toujours en place sur leur support de grès, assuraient l'écoulement de l'eau vers les parcelles, dont on observe encore les digues de ceinture en train de disparaître sous les *barkhanes* (photo 40).

Le secteur le plus oriental de la ligne de crête est équipé de :

- 1 *qanat* avec puits amont, 1 saignée, 1 tranchée, 1 saignée à nouveau, 1 regard par puits et 1 chenal exutoire vers un parcellaire proche en partie occupé par une petite palmeraie.
- 1 *qanat* à 3 puits artésiens et 1 chenal exutoire.

Sur la face nord, on dénombre quatre *qanawat* à chapelet de tertres qui disparaissent sous les dunes (photos 4, 74, 75, 76). Leurs regards sont l'aboutissement d'une cheminée de briques. Sur la crête, entre les deux mamelons qui accidentent le sommet du bloc, un puits (2 m de grand axe) a été creusé dans un substrat d'argilites lie de vin.

À l'ouest, on trouve des regards (1 rectangulaire ayant à son amont 1 regard circulaire) à cheminée de briques, enchâssés dans les débris qui recouvrent les flancs d'une butte profilée. Un autre tertre nappé de sable présente 1 regard circulaire à dalles de grès rose. Un *qanat* à tertres disparaît sous les sables. Très en aval, sans qu'un raccord direct puisse être établi, trois hydragogues sur assises de grès encadrent une dépression comblée de sable, et composent à mi-pente le contour d'un dispositif hydraulique convergent (photo 40).

Le flanc sud ne présente pas de traces visibles d'équipements d'irrigation, car les dunes épaisses et chevauchantes qui y sont présentes rendent difficile la prospection.

Le petit nombre d'installations hydrauliques, dont les dimensions sont inhabituelles en comparaison de celles des autres sites, s'explique par la fracturation du substrat lithologique. De nombreux accidents tectoniques découpent en lames étroites les faciès et réduisent leur aptitude à devenir un réservoir hydrogéologique. En revanche, la fissuration entretient les exurgences que quelques galeries suffisent à drainer.

3.15 LE TRANSPORT DE L'EAU ET L'ARROSAGE DES PARCELLES

L'eau qui sortait des puits et des *qanawat* était conduite vers les champs. Les équipements destinés à ce transport se dirigeaient de la base des collines vers les plats finages de la plaine. Les canalisations à cylindres de terre cuite et les canaux composaient ainsi le trait le plus particulier de ce paysage d'irrigation. Le cheminement de leurs tuyauteries articulées, bordées de plantes aquatiques et accompagnées de fuites d'eau, s'opposaient aux lignes rigides et droites des aqueducs construits ou creusés à même le sol. Ces hydragogues contribuaient à compartimenter les terroirs et à les figer face au milieu instable.

3.15.1 LES HYDRAGOGUES

À la sortie d'un chenal de puits ou à la bouche d'une galerie de drainage, l'une et l'autre assez comparables à une source par la permanence du débit, l'eau est transférée vers les parcelles par des aqueducs ou hydragogues (photos 135, 136). Par définition à l'extérieur des parcellaires, l'aqueduc se dispose selon la plus forte pente (Aïn Boreq, photo 12) ou suit un long cheminement, en rattrapant en oblique la dénivellation (Tell-Douch, couloir est, Aïn Manawir ouest) jusqu'au point de lâchage, à l'entrée du parcellaire. Parfois même, par une tranchée, il transfère l'eau dans un autre bassin-versant (Aïn Boreq). Actuellement, le plus grand nombre se présente souvent sans tenant, ni aboutissant, démontrant *a contrario* que ce segment de l'installation hydraulique est le plus vulnérable. Réduit à l'état de vestiges fréquents mais très ruinés, le tracé est reconstitué à partir de leurs supports aux aspects variés, des débris éparpillés de leurs conduits éventrés, des imprégnations colorées par le fer et le manganèse qui attestent des fuites d'eau (photos 11, 136, 137), et des disséminations de coquilles fossiles abandonnées par des mollusques d'eau douce, également commensaux des puits (Tell-Douch ouest et Aïn Ziyada sud). *Melania tuberculata* reste leur représentant le plus fréquent.

Les hydragogues ont l'aspect de rigoles creusées à même le sol. Les dimensions de leur surface mouillée varient de celles du sillon étroit à celles du chenal (photos 138, 139) plus large que profond (Tell-Douch). Mais les aqueducs peuvent être plus élaborés. Leurs conduits de terre cuite sont posés à même un sol induré, où subsiste après leur destruction leur empreinte sous la forme d'un moule concave (photos 140, 141). Ou bien ils sont installés sur une semelle de limon ou d'argilite, agrémentée de morceaux de grès pour pierres de calage ; ou encore ils sont déposés à l'intérieur d'un support en chaussée, construit en gros pavés de grès.

Les conduits ont des formes différentes, en auge (photo 141) ou en cylindre (photo 142). Les éléments à section droite sont accolés les uns à la suite des autres (photo 119). Quand la section est tronconique ou cylindrique, l'assemblage de la conduite se fait en emboîtant les éléments (hydragogue du *qanat* de Tell-Douch nord) ou en les encastrant grâce à un goulot façonné à l'une des extrémités (photo 143), cf. hydragogue aux éléments en place du parcellaire de Tell-Douch sud, Aïn Boreq, Aïn Ziyada, etc. L'épaisseur des parois varie entre le demi-centimètre et le centimètre et demi. Les diamètres ou sections ont des dimensions comprises entre la dizaine de centimètres et le demi-mètre.

Si les vestiges les plus nombreux sont installés à la surface du sol, certains se trouvent perchés. Hors du cas en accord avec la longueur de l'hydragogue considéré, qui fait que l'amont est toujours plus haut que l'extrémité aval, il reste que certains sont anormalement perchés si on se réfère à leur position le long du parcours (photo 137). Il se peut qu'ils le soient fallacieusement. À Douch, on trouve un reste de conduit sur une butte à déblais de curage, haute de 1,50 m et située à la limite d'une parcelle (photo 138). Ne peut-on y voir un débris sans signification, rejeté là par le fellah ? Mais, à Aïn Ziyada et à Tell-Douch ouest comme à Aïn Manawir, d'autres semblent avoir acquis leur position surélevée en raison de l'évolution morphogénique. La déflation éolienne en serait la cause. Leur perchement aurait donc une valeur chronologique, et signalerait des installations anciennes dont une grande partie aurait été détruite, avant l'établissement des parcellaires inférieurs installés dans la plaine.

3.15.2 LE DÉBIT DES HYDRAGOGUES

On évalue le débit (Q) des conduits à partir de leur gabarit. Pour les conduits en forme d'auge, à partir des dimensions relevées à Aïn Manawir, on distingue deux tailles pour lesquelles les surfaces mouillées sont respectivement :

- pour les petites tailles (= a, photos 141, 144) : l = 27 cm ou 22 cm et h = 10 cm, une surface mouillée (Sm) à plein régime (écoulement à ras bord) de 245 cm^2 ; à mi-hauteur (revanche de 5 cm) de 122,5 cm^2, sans doute le type d'écoulement le plus pratiqué comme on l'observe aujourd'hui ;
- pour les plus grandes tailles (= b) : l = 30 cm ou 26 cm et h = 10 cm, soit à plein régime Sm = 280 cm^2, et à mi-hauteur Sm = 140 cm^2. Si on admet une vitesse d'écoulement V = 0,20 m/sec, le débit (Q) est, pour (a), de 5 l/sec, soit 18 m^3/h ; ou 2,5 l/sec, soit 9 m^3/h ; pour (b), de 5,6 l/sec, soit 20 m^3/h ; ou 2,8 l/sec, soit 10 m^3/h.

On peut également calculer le débit [250] des conduits cylindriques. Trois tailles ont été reconnues *in situ*,

- pour a = grande taille (conduit d'Aïn Manawir, photo 142), Longueur = 94 cm, D = 48 cm ou R = 24 cm ; longueur de la circonférence = 150,72 cm ; surface du cercle = 1 805 cm^2 ;
- pour b = petite taille (type 1, conduit de la *qanat* à fosses de Kysis nord, photo 119) : D = 22 cm ou R = 11 cm, longueur de la circonférence = 69,08 cm, surface du cercle = 379,94 cm^2 ;
- pour c = petite taille (type 2, conduit d'Aïn Manawir) D = 19 cm ou R = 9,5 cm. ; longueur de la circonférence = 59,66 cm ; surface du cercle = 283,385 cm^2.

On peut remarquer que les conduits cylindriques ont des surfaces mouillées plus importantes. L'auge de la taille la plus grande présente une surface mouillée équivalente à celle du plus petit diamètre mesuré à Aïn Manawir.

[250] H. Dupriez, Ph. de Leener, *op. cit.*, 1990, p. 326.

Pour toute canalisation, le débit peut être calculé, d'après la formule :

$$Q = S \times \sqrt{2 \times g \times h \times k},$$

avec S = section mouillée en cm^2 ; g = 981 cm/sec^2 ; h = dénivellation de l'installation (1 m pour valeur moyenne mesurée sur le *qanat* de Kysis nord, soit une pente de 0,5 pour mille) [251] ; k = coefficient de pénétration de 80 % (intérieur lisse de la conduite) ou de 45 % pour les secteurs les plus rugueux.

Pour le conduit au plus grand diamètre, on évalue le débit (Q) = 360 l/sec, soit 1296 m^3/h ou 31 104 $m^3/jour$, avec S = 1 808 cm^2, h = 100 cm, et k = 45 %, la situation retenue en raison des multiples emboîtements d'éléments. L'abondance annuelle est d'un peu plus de 1 million de m^3.

Et, avec toujours k = 45 % et h = 1 m de dénivelée, pour un écoulement s'opérant sur un peu moins de la hauteur du tube, soit h = 22 cm, et une surface mouillée Sm = 780 cm^2, on obtient Q = 155 l/sec, soit 560 m^3/h, ou 13 445 $m^3/jour$; et pour h = 18 cm et Sm = 584 cm^2, Q = 116 l/sec, soit, 418 m^3/h ou 10 032 $m^3/jour$; et pour h = 12 cm et Sm = 347 cm^2, Q = 69 l/sec, soit 248,5 m^3/sec ou 5 966 $m^3/jour$; et pour h = 6 cm et Sm = 129 cm^2, Q = 25,5 l/sec, soit 92 m^3/h ou 2 217 $m^3/jour$.

De même, pour un cylindre de D = 22 cm (conduite de Kysis), R = 11 cm, on a pour les mêmes conditions d'écoulement, avec Sm = 380 cm^2, Q = 75 l/sec, ou 270 m^3/h ou 6 480 $m^3/jour$.

Pour un cylindre de D = 19 cm (conduite d'Aïn Manawir) et R = 9,5 cm, on a, pour les mêmes conditions d'écoulement, avec Sm = 283 cm^2, Q = 56 l/sec, ou 203 m^3/h ou 4 873 $m^3/jour$.

TABLEAU 6. *Récapitulatif des caractéristiques*

H (cm) = *hauteur d'eau en cm dans le conduit.*
Sm (cm^2) = *surface mouillée en cm^2.*
Q (l/sec) = *débit en litre par seconde.*
Q (m^3/h) = *débit en m^3 par heure.*
Q (m^3/j) = *débit en m^3 par jour.*

(1) *Canalisation d'Aïn Manawir (D = 48 cm).*
(2) *Canalisation de la* qanat *de Kysis (D = 22 cm).*
(3) *Canalisation d'Aïn Manawir (D = 19 cm).*

Les débits ont été calculés pour différentes hauteurs d'eau à l'intérieur des conduits [cf. H (cm)].

On estime qu'une personne extrait 500 l/jour quand l'eau est à 10 m de profondeur et par une puisette 200 l/jour quand l'eau est à 35 m de profondeur. (G. Newy, L'homme et l'eau dans le domaine tropical, 1991, p. 59).

	H (cm)	Sm (cm^2)	Q (l/sec)	Q (m^3/h)	Q ($m^3/jour$)
(1)	48	1809	360	1296	31 104
	24	1436	286	1 030	24 730
	22	782	155	560	13 445
	18	584	116	418	10 032
	12	347	69	248,5	5 596
	6	129	25,5	9,2	2 217
(2)	22	380	75	270	6 480
	11	191,6	38	137	3 294
	5,50	125,8	25	90	2 162
	2,75	27	5	19	464
(3)	19	283	56	203	4 873
	9,50	53	10,5	38	911
	4,75	20,4	4	14,6	350

[251] Même valeur de pente pour les *qanawat* du Proche-Orient datés de l'Antiquité.

L'abondance de certains débits pose la question de savoir si toutes les installations hydrauliques, en particulier celles trouvées à Aïn Manawir, avaient une finalité strictement agricole. Les débits permettent l'irrigation si on retient qu'actuellement, le coton réclame 700 l par m^2 cultivé.

3.16 L'IRRIGATION DU PARCELLAIRE

La distribution de l'eau à l'intérieur des parcellaires se réalise à partir de différents modes. Les uns sont ponctuels, les autres intéressent la superficie des parcelles et se réalisent par un réseau que détermine le mode d'irrigation utilisé. Les façons sont très semblables à celles pratiquées dans l'oasis actuelle. L'arrosage pratique l'inondation des parcelles, ou, par les rigoles entre les billons, l'imbibition des levées de terre cultivées.

3.16.1 LES RIGOLES ET CONDUITS DU PARCELLAIRE

Des tailles différentes caractérisent les chenaux d'amenée d'eau creusés à même le substrat (Kysis, Aïn Manawir). On peut se demander si ces tailles différentes répondent à des débits allant en diminuant au fur et à mesure du parcours, ou bien si elles relèvent d'une coutume qui use de gabarits étalonnés afin de partager le débit entre les utilisateurs, aucun répartiteur d'eau n'a été retrouvé jusqu'à présent.

Il existe en effet une hiérarchie dégressive entre les chenaux tracés à la surface du sol, à l'extérieur des parcellaires, et les rigoles creusées à même le substrat ou la terre arable à l'intérieur des parcellaires. Un tel déterminisme paraît moins respecté pour les conduits de terre cuite. Les diamètres les plus petits caractérisent le réseau à l'intérieur du périmètre irrigué (Tell-Douch sud). Cependant, les petits diamètres se rencontrent également à l'extérieur et même, comme à Tell-Douch est ou à Aïn Manawir ouest (photo 145), ils côtoient des conduits d'un plus fort diamètre. S'agit-il d'une substitution en raison d'une diminution des débits comme le fait penser l'état de délabrement du conduit à fort diamètre ? Pourrait-on y définir une chronologie hors d'une modification factuelle ? Le petit diamètre permet de faire circuler l'eau sous pression, nécessité lorsque les débits sont faibles pour assurer l'écoulement jusqu'aux limites du terroir irrigué.

3.16.2 L'ARROSAGE DES PARCELLES

La forme des parcelles et leur aspect de surface permettent de distinguer les multiples façons de répartir l'eau dans les champs.

L'arrosage par inondation se pratique à partir d'une vanne (photo 146) qui, située à l'amont du bassin, est matérialisée par un seuil et deux pierres levées ; les entrées

secondaires, par une borne en grès (photo 147). La parcelle est délimitée par ses digues, et l'ensemble par la digue de ceinture, un bourrelet de terre qui définit le périmètre du parcellaire irrigué (Tell-Douch). La parcelle en bassin est plane parce qu'aplanie. Elle est légèrement en contrebas de la rigole d'amenée, elle-même dérivation d'un chenal amont situé à l'extérieur du parcellaire (Tell-Douch nord).

La parcelle arrosée par débordement latéral présente une légère pente inclinée vers l'aval (Aïn Manawir, Tell-Douch, photo 147). L'eau d'une rigole creusée sur son long côté déborde au fur et à mesure de son cheminement. Il en résulte une lente imbibition de sa surface. À l'aval, une digue retient l'eau qui, en stagnant, est lentement absorbée ou évaporée. Le risque est la salinisation des sols et la constitution d'une croûte par évaporation (Tell-Douch nord).

La parcelle irriguée par sillons présente une juxtaposition de bourrelets de terre séparés par une rainure ou une rigole. L'eau qui circule s'infiltre progressivement dans les billons (photo 148).

3.16.3 L'IRRIGATION PAR CANARIS EN TERRE POREUSE

L'exemple est fourni par un des parcellaires d'Aïn Manawir nord. Un cadre de briques rectangulaires (2 m × 1 m) isole un emplacement au centre duquel a été trouvé enterré un canari allongé (photo 145). Le principe est qu'à travers ses parois poreuses l'eau diffuse vers une plante à l'enracinement profond, tel un arbre fruitier. La technique qui s'applique à des surfaces restreintes est souple puisqu'elle n'oblige au remplissage de la jarre que tous les quinze jours au maximum. Elle a aussi pour avantage d'être économique en eau et en temps, d'éviter la salinisation des sols, outre que la fabrication des canaris est assurée par les potiers locaux.

Une installation similaire pourrait avoir été en usage également à Tell-Douch (photo 132), dans un des couloirs du piémont situés en contrebas du temple en pierres (fig. 29). Des cadres de briques alignés, mimétiques de ceux des regards d'une galerie y ont été retrouvés. Au centre de deux d'entre eux, une jarre y a été dégagée. De même, un bac (174 cm × 123 cm) de ce type, mais vide de tout canari, a été également repéré à Dikura, à proximité d'un réseau de puits et de *qanawat*.

Hors de cet usage, on peut estimer que les cruches enterrées ont pu servir de réserve d'eau pour l'oasien qui travaille dans des parcellaires forains et éloignés des sites habités. On peut trouver aussi des bacs creusés dans le sable avec un couronnement en briques, et dont la profondeur a la hauteur d'une jarre, dimension 2 m × 1 m (Tell-Douch nord). Leur usage est incertain (réserve ?).

Cette diversité conduit à distinguer des types de parcellaires. Il est possible également de préciser comment s'exécutait l'arrosage de leur terre.

3.17 L'IRRIGATION DES TERROIRS

À partir des sections des conduits, on peut estimer théoriquement les volumes transférés aux parcellaires à l'époque de Kysis. Malgré une certaine mais faible et nécessaire part de convention, cette évaluation de l'irrigation des parcelles (débit et durée) doit intégrer également leur superficie et l'épaisseur de leurs sols. Or ces paramètres peuvent être déterminés précisément sur le terrain, grâce au profil cultural conservé par les parcelles d'un des terroirs d'Aïn Manawir.

Délimitée par un mur, la superficie précise de ce dernier est de 47,4 m × 22 m = 1 042,8 m^2, soit un peu moins de 10 ares et demi. C'est une fraction de propriété.

L'épaisseur conservée des horizons du sol travaillé (photo 149) permet de calculer sa capacité de rétention. L'horizon supérieur (H1) sous l'aspect d'un sol raciné dense, à fins filaments blancs de sel logé dans le lacis des radicelles (frange capillaire) est épais de 8 cm. L'horizon inférieur (H2) est un sol travaillé à structure polyédrique lâche, à rares filaments racinaires et d'une épaisseur de 22 cm. Leur ensemble, considéré comme un sol de culture [252], a un développement moyen de 30 cm. Les deux horizons H1 et H2 sont séparés par une limite interprétée comme celle du flétrissement pour les plantes. L'horizon H1 qui est sus-jacent à H2 est le plus fréquemment arrosé (frange de capillarité). À sa base, le sol de culture (H1 et H2) est séparé du substrat limono-sableux par une ligne considérée comme une limite de travail. Cette autre détermine en profondeur la zone d'infiltration des eaux. À l'échelle du terroir, chaque horizon peut être déterminé par son volume, soit pour (H1) 83 m^3, pour (H2) 230 m^3, et pour l'ensemble (H1 et H2) 313 m^3.

La capacité au champ du sol de culture a été chiffrée. Une motte de 2 kg fournie par un des champs de l'oasis de Douch, à l'état de saturation, puis séchée, a défini par différence de poids la capacité au champ d'un substrat limono-sableux, comparable à la terre arable du verger d'Aïn Manawir; soit pour 1 kg de sol, une capacité au champ (He) à l'état de saturation de 10 %. On peut déjà à partir de la formule, Hf = He/1,84, définir le % en poids qui détermine le point de flétrissement (Hf) = 5,43 %.

L'établissement de ces données préalables permet de calculer la valeur des différents paramètres [253] indispensables à connaître pour évaluer les quantités d'eau apportées aux plantes, pour reconstituer les débits et le temps d'arrosage qu'ils peuvent virtuellement permettre et demander, et pour estimer le volume des pertes.

Ces paramètres sont la réserve maximum évaluée en % de volume de sol ou en volume d'eau par m^3/ha. Elle permet de définir la capacité de rétention des différents horizons, comme la recharge utile maximum qui désigne la quantité d'eau nécessaire aux cultures, en fonction des horizons édaphiques receveurs. La réserve utile pratique correspond au volume d'eau nécessaire à l'arrosage des parcelles, avant que ne soit atteint le point de flétrissement. Le temps d'arrosage du parcellaire est calculé à partir des débits et des volumes édaphiques.

[252] L'analyse de ce sol a montré la présence de pollens de céréales et d'olivier dont on a retrouvé des macro-restes en bordure du parcellaire.

[253] M. Ducrocq, *Les bases de l'irrigation*, Paris, 1986, 117 p.

Comme peut être estimé le volume théorique des pertes des installations hydrauliques, dont la réalité peut être assurée en raison des traces de suintement observées à la jointure des conduits encore en place, ou établie à partir de l'évaporation effective à la surface des parcelles inondées.

3.17.1 LES CAPACITÉS THÉORIQUES

Connaissant ainsi la capacité au champ (He) et l'humidité caractéristique du point de flétrissement (Hf), on peut calculer, la réserve utile maximum (R.U.max) en % du volume du sol, qui évalue le % d'eau présent dans les sols, mais non entièrement disponible pour les plantes. C'est un moyen de définir l'apport de l'irrigation. Selon la formule Hf = (He × Hf) × Da, où He = capacité au champ, soit 10 %, Hf = point de flétrissement, soit 5,43 %, et Da = densité apparente sèche, soit pour la texture considérée une valeur moyenne de 1,5 d'où R.U.max. = 5,48 %. Le résultat signifie que dans 100 m^3 de sol considéré 5,48 m^3, ou 5 480 l d'eau, ou 54,8 mm sont présents dans le sol, soit, pour le parcellaire d'Aïn Manawir, H1 = 45 mm, H2 = 126 mm, H1 et H2 = 171 mm.

On peut évaluer ce même volume d'eau en m^3/ha selon la formule

$$R.U.max. = (He/1,84- He) \times Da \times Z \times S,$$

où He = capacité au champ en % de poids, Da = densité apparente, Z = profondeur du sol exploitée par les racines en m, S = surface de la parcelle en m^2, ou selon la formule simplifiée 0,45 × He × Da × Z. Soit pour le verger de 10,5 ares, à l'état de saturation :

H1 = 4,54 m^3 ou 0,4 m^3/are ou 400 l/are	**H2** = 12,58 m^3 ou 1,2 m^3/are ou 1 200 l/are	**H1 et H2** = 17 m^3 ou 1,7 m^3/are ou 17 000 l/are

Ce qui fait pour chacun des horizons receveur H1 = 4,54 m^3 ou 4 500 l ou 45 mm. H2 = 12,6 m^3 ou 12 600 l ou 126 mm ; H1 et 2 = 17,15 m^3 ou 17 500 l ou 175 mm. Autrement dit, l'irrigation délocalise ou transfère en zone aride un secteur écologiquement situé en zone hyperaride. Ainsi, pour assurer l'état de saturation de l'horizon supérieur, faut-il 4,5 m^3 ; pour assurer la recharge humide de l'horizon inférieur, 12,6 m^3 ; et pour assurer l'imbibition du sol de culture, 17 m^3. Soit, pour le parcellaire d'Aïn Manawir, près de 35 m^3 pour assurer l'humidité permanente des sols. Si l'irrigation se fait sur un rythme moyen de tous les cinq jours, 73 fois au cours d'une année seront déversés 35 m^3, soit au total 2 555 m^3.

On peut calculer la recharge utile maximum :
- H1 = 0,25 m^3 ou 250 l/are,
- H2 = 0,68 m^3 ou 680 l/are,
- H1 et H2 = 0,93 m^3 ou 930 l/are,

soit pour récapituler en fonction de l'état de saturation ou de flétrissement :

	Saturation		Recharge utile	
H1	0,4 m³/are	400 l/are	0,25 m³/are	250 l/are
H2	1,2 m³/are	1200 l/are	0,60 m³/are	600 l/are
H1 et H2	1,6 m³/are	1600 l/are	0,93 m³/are	930 l/are

Pour ce parcellaire d'Aïn Manawir, il faut un peu moins d'une vingtaine de m³ (20 m³) pour assurer l'alimentation en eau des cultures.

On peut de même calculer la réserve utile pratique, c'est-à-dire évaluer la recharge en fonction de l'état apparent du sol et des plantes, en relation avec une humidité réduite au tiers ou à la moitié de la recharge utile maximum, selon la formule

$$2/3 \times 4\,500 \times He \times Da \times Z \times S$$

et $$1/2 \times 4\,500 \times He \times Da \times Z \times S,$$

c'est-à-dire :

	pour 1/2		pour 1/3	
H1	0,12 m³/are	120 l	0,16 m³/are	160 l
H2	0,34 m³/are	340 l	0,43 m³/are	430 l
H1 et H2	0,46 m³/are	460 l	0,59 m³/are	590 l.

Soit, pour le parcellaire d'Aïn Manawir 10 m³ ou 12 m³. On irrigue avec ces quantités, dès que l'humidité du sol par rapport à la capacité au champ tombe en dessous de 7 % ou de 8 %, selon la formule Hf +1/3 (He-Hf) et Hf +1/2 (He-Hf).

Pour un parcellaire dont la superficie est comparable à celle du verger d'oasis d'Aïn Manawir (10,50 ares), les besoins diffèrent selon qu'on choisit de mener un arrosage en fonction de la réserve maximum utile 35 m³ ; la recharge utile maximum 20 m³ ; la réserve utile pratique : 12 ou 10 m³.

Dans le premier cas, l'arrosage est toujours conduit à son maximum. Il engendre des pertes et un gaspillage d'eau qui peuvent avoir pour conséquence la salinisation progressive des horizons du sol. Dans les deux autres cas, on conduit des irrigations légères mais fréquentes et adaptées à des sols légers, très perméables et rapidement saturés. C'est le cas actuellement, pour ces limons sableux, comme l'indique la capacité au champ faible (10 %). Ces modes d'arrosage devaient être les plus adaptés à l'écoulement continu des *qanawat*. Mais il semble que le premier mode a dû être le plus pratiqué dans l'Antiquité, tempéré par des ralentisseurs d'eau à l'entrée des parcelles (parcellaire de la plaine de Kysis).

L'utilisation d'une telle technique indique qu'outre la quantité, le fellah avait aussi le souci de maîtriser les débits d'écoulement parfois importants qui s'échappaient des conduits des installations hydrauliques. Il en résultait la nécessité d'une répartition mesurée.

Théoriquement on peut définir des durées d'arrosage en fonction des diamètres relevés *in situ* (48 cm/22 cm/19 cm) et des hauteurs d'eau différentes, classées selon une progression systématiquement égale à la 1/2, au 1/4, ou au 1/5 de la hauteur.

Horizon	Diamètre/ hauteur en cm	m³/mn	Temps d'arrosage
Sol de culture H1 et H2 (30 cm) ou 313 m³	D = 48	21	15 mn
	h = 24	17	18 mn
	h = 22	9	34 mn
	h = 18	7	44 mn
	h = 12	4	1 h 18 mn
	h = 6	1,5	3 h 30 mn
	D = 22	4,5	1 h 09 mn
	h = 11	2,2	2 h 20 mn
	h = 5,5	1,5	3 h 30 mn
	h = 2,75	0,3	17 h 20 mn
	D = 19	3,3	1 h 34 mn
	h = 9,5	0,6	8 h 40 mn
	h = 4,75	0,07	60 h 2 j 12 h
Sol raciné H1 (8 cm) ou 83 m³	D = 48	21	4 mn
	h = 24	17	5 mn
	h = 22	9	10 mn
	h = 18	7	12 mn
	h = 12	4	20 mn
	h = 6	1,5	55 mn
	D = 22	4,5	18 mn
	h = 11	2,2	37 mn
	h = 5,5	1,5	55 mn
	h = 2,75	0,3	4 h 36 mn
	D = 19	3,3	25 mn
	h = 9,5	0,6	2 h 20 mn
	h = 4,75	0,07	19 h 45 mn

TABLEAU 7. *L'irrigation*

Verger d'oasis d'Aïn Manawir (phot. 168).

1. Superficie : *47,4 m × 22 m = 1042,8 m², soit 10,5 ares.*

2. Épaisseur des horizons édaphiques – *sol raciné (H1) : 8 cm. – sol travaillé (H2) : 22 cm. – sol de culture (H1 et H2) : 30 cm. (phot. 140)*

3. Volume édaphique d'accueil : *– H1 = 83 m³. H2 = 230 m³. H1 et H2 = 313 m³.*

4. Caractéristiques édaphiques :

– Capacité au champ = 10 %.

– Point de flétrissement = 5,43 %.

5. Les besoins en eau :

1. Réserve utile maximum : – en % : 5,48 %. – en m³/ha : 35 m³ pour 10,5 ares.

2. Recharge utile maximum : en m³/ha : 20 m³ pour 10,5 ares.

3. Réserve utile pratique : en m³/ha : entre 12 m³ et 10 m³ pour 10,5 ares.

6. Les débits : *les surfaces mouillées reconnues s'échelonnent entre : 280 et 245 cm² pour les sections en auge ; 1 808 et 283 cm² pour les sections circulaires. Les débits varient :*

– pour un diamètre de 48 cm : de 21 m³/mn à 1,7 m³/mn ;

– pour un diamètre de 22 cm : de 4 m³/mn à 0,3 m³/mn ;

– pour un diamètre de 19 cm : de 3 m³/mn à 0,07 m³/mn.

LA DURÉE DE L'IRRIGATION

Le temps de l'irrigation peut être de la même façon considéré. Si on retient que le sol travaillé du verger d'Aïn Manawir représente un volume de 313 m³, à raison d'un débit de 9 m³/mn pour une surface mouillée égale à 782 cm², avec h = 22 cm, en un peu plus d'une demi-heure (34 mn) l'arrosage du verger peut être réalisé.

Comme le verger d'oasis d'Aïn Manawir représente les capacités pour chaque horizon de H1 = 4,50 m³ ; H2 = 12,5 m³ ; H1 et H2 = 17 m³, un hydragogue aux éléments en forme d'auge de 245 cm² de surface mouillée et à régime d'écoulement à plein bord peut en une heure recharger l'horizon de culture. Ou selon des régimes d'écoulement différents (plein bord ou mi-hauteur) recharger les différents horizons en 15 mn ou 30 mn pour H1 = 4,5 m³, en 40 mn ou 1h 10 mn pour H2 = 12,5 m³, et en 1h ou 1h 30 mn, pour H1 et H2 = 17 m³.

Si on se réfère aux volumes d'eau nécessaires pour établir la recharge utile ou la réserve utile des horizons édaphiques, soit 30 m³ ou 20 m³ ou 12-10 m³ selon les cas, le temps d'arrosage est donc assez court. Il est compris entre 3/4 d'heure et 3 heures selon les débits pour un parcellaire de la taille du verger d'oasis d'Aïn Manawir.

On peut retenir que le temps d'arrosage à partir d'une canalisation de 22 cm de diamètre (type fréquent), selon les modes d'arrosage choisis, dure entre 45 mn et 3 heures pour 10,5 ares.

Enfin, le rythme de l'arrosage peut être déterminé par l'efficacité de l'évaporation. Actuellement elle est estimée à 14 mm/jour à Assouan et localement en juillet à 24 mm/jour (soit 24 l/m^2/j) [254]. Si on retient le premier chiffre par rapport à la réserve utile des sols, sans tenir compte de la consommation des plantes (évapotranspiration), on a pour H1 = 45 mm, soit un arrosage tous les 3 jours, pour H2 = 126 mm, soit un arrosage tous les 9 jours ; pour H1 et H2 = 171 mm, soit un arrosage tous les 12 jours.

Si on estime que l'irrigation doit être déclenchée pour une humidité présente équivalente à la moitié ou au tiers de la réserve utile, on a pour H1 = 22 ou 15 mm, soit un arrosage tous les jours et demi ou tous les jours ; pour H2 = 60 ou 40 mm, soit un arrosage tous les 4 ou 3 jours ; pour H1 et H2 = 86 ou 57 mm, soit un arrosage tous les 6 et 4 jours.

Comme on observe des rythmes semblables pour H2 et H1 et H2, l'irrigation peut être conduite avec une certaine souplesse. En revanche, la pratique qui vise à entretenir la frange capillaire à l'état d'humidité permanente est plus contraignante, puisqu'elle impose un rythme journalier. Or on sait que, dans la région de Kharga-Hibis, en été, l'irrigation avait lieu tous les trois jours, et en hiver, tous les six jours [255]. En fonction de ce rythme, on pourrait dire que l'irrigation pratiquée par inondation privilégiait l'humidification des horizons inférieurs. Elle paraît la solution la plus adaptée aux installations hydrauliques utilisées, comme aux plantes cultivées. Dans ces conditions, les sillons assurent une saturation par gravité propice aux plantes à bulbes ; les bourrelets entretiennent l'humidité du sol par capillarité, le type d'imbibition le plus favorable au sorgho ou autres plantes céréalières. Ce mode d'humectation caractérise également les surfaces aplanies des parcelles, par infiltration lente.

LA CONSOMMATION VRAIE Les pertes enfin peuvent être chiffrées approximativement. Si, en raison des infiltrations dans le sol dont les traces sont encore visibles sous les conduites en place, on accepte une perte de 0,05 l/sec., soit déjà 180 l/h, ou 4 m^3 en 24 heures, (ou 21 fûts de 200 l), par point de fuite – et chaque jointure des conduits d'une canalisation peut en devenir un – l'irrigation se réalise au prix d'une très forte consommation d'eau, outre l'évaporation qui se produit à la surface des champs arrosés (14 mm/jour en moyenne pour l'année). En effet, si l'hydragogue se déploie sur un trajet de 500 m, pour une longueur des tubes de 94 cm, on compte 530 jointures lesquelles à raison d'un suintement de 4 m^3/24 heures, déterminent une perte qui s'élève à 2 120 m^3/jour, dans le pire des cas, soit à peu près ce que demande une irrigation de 10 ares dans l'année. Enfin, si on admet une évaporation de 14 mm/jour (5110 mm/an ou 5 m^3/an), il faut ajouter cette quantité aux volumes d'eau. Mais comme on l'a vu ce paramètre intervient surtout pour déterminer le rythme de l'irrigation.

[254] F. Wendorf, R. Schild, *op. cit.*, 1980, p. 14.
[255] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

L'irrigation s'effectue à partir de différents types d'arrosage à l'échelle des parcelles. Si les diverses tailles des conduits peuvent mettre sur la voie d'usages différents pour ce qui concerne les installations hydrauliques et, dans le cadre d'un même usage, sur la différenciation de plusieurs pratiques, on remarque également plusieurs façons d'irriguer, peut-être en relation avec différentes pratiques et maîtrises des volumes d'eau débités par les canalisations. On peut retenir que 10 ares réclament 5 000 m^3 par an, un ha 10 fois plus. Si l'abondance annuelle d'un *qanat* est de un million de m^3, un seul équipement assure donc l'irrigation d'une vingtaine d'ha soit entre deux à quatre propriétés en moyenne. Un *qanat* peut donc desservir approximativement les parcellaires de 2 à 4 oasiens.

3.18 LES PARCELLAIRES

On peut distinguer plusieurs types de parcellaires [256] selon leur site, leur situation et la pratique agricole que révèle le faciès de leurs parcelles. Les uns sont proches des sites habités, terroirs de bourgade ou de fermes (Tell-Douch, Aïn Ziyada, Aïn Manawir). Les autres plus éloignés sont alimentés par des puits de plaine (Douch sud) ou de piémont. Les dimensions de leurs parcelles sont variables, selon les types, dès leur création ou en raison de partages ultérieurs.

3.18.1 LE PARCELLAIRE DE PENTE

Un seul a été observé, dans un col de flanc qui accidente le rebord de la corniche de la hamada, au sud du Naqd Douch. Il est défini par des alignements de pierres parallèles (photo 150). On peut comprendre cet équipement qui retient encore de la terre sableuse, comme les restes d'un assemblage de terrassettes. L'absence d'installation hydraulique à proximité et l'impossibilité d'en établir en raison de la configuration de la pente font dire que ces champs devaient relever d'une agriculture de type pluvial. Dans ces conditions, ce parcellaire pourrait être relativement ancien.

3.18.2 LE PARCELLAIRE D'OUED

Seul celui d'Aïn Boreq est connu. Il est établi à la surface de la basse terrasse d'un oued, incisé dans le piémont situé en contrebas de la hamada (photos 12, 35). Il n'est pas irrigué par une dérivation fluviale. En l'état, il est alimenté en eau par des *qanawat* qui à

[256] B. Bousquet, « Les parcellaires et les installations hydrauliques dans la région de Douch », in *Les problèmes institutionnels de l'eau en Égypte ancienne et dans l'Antiquité méditerranéenne*, Colloque de Vogüé 1992, Le Caire, IFAO, 1995.

son amont captaient les nappes d'une crête de grès à la base fossilisée par des limons gris, et par un point d'eau (*hydreuma* associant puits et *qanat*), situé dans un vallon de ligne de faille adjacent (fig. 35). Des conduits posés sur des aqueducs au parcours successivement en chaussée et en tranchée à travers une lanière de glacis-terrasse ont transféré l'eau d'une dépression à l'autre pour atteindre les champs à irriguer. Le réseau des chenaux et des aqueducs montre que le mode d'irrigation de ces casiers a sans doute été modifié pendant la période de son utilisation.

DESCRIPTION DU PARCELLAIRE D'AÏN BOREQ Le parcellaire (35 348 m^2) se subdivise en 67 casiers d'irrigation de forme quadrangulaire et d'une surface moyenne de 527 m^2 (photos 151 à 154). En fait, ces casiers ou parcelles sont disparates ; les plus grands se situent à son amont alors qu'à sa périphérie, les casiers ont tendance à être moins étendus (fig. 35). Cette caractéristique résulte sans doute des contraintes techniques de l'arrosage, ou bien elle a été acquise lors de subdivisions opérées à la suite de partage, au cours même de son utilisation. Il semble en effet qu'un rectangle de 10 ares ait servi d'unité modulaire de base. Aussi les figures plus trapues dériveraient-elles de partitions ultérieures.

Les champs étaient défendus par des haies d'épineux, comme en témoignent les épines mêlées aux sédiments de leur sol. Leur surface est subdivisée par des bourrelets transverses et parallèles démontrant que l'irrigation s'y opérait par billons. Le parcellaire limité par une digue de ceinture est organisé en travées, une quinzaine encore visibles, limitées par des hydragogues ou des digues, qui orientées vers l'oued sont recoupées par des levées plus discontinues à l'origine d'une subdivision secondaire en bandes, parallèles au cours de l'oued. Cette organisation peut traduire un agrandissement progressif du périmètre irrigué. Ce type, sans doute d'abord un parcellaire de campement, a été transformé par l'irrigation en un terroir voisin de l'hydrofoncier des hameaux. Cependant aucun habitat permanent ou saisonnier n'y a été retrouvé.

TABLEAU 8. *Le parcellaire d'Aïn Boreq.*
T = *travée*, P = *parcelle et son n°. Indice de morphométrie L/l et indice de conformité = P-m²/P moy-m²*

N^os des travées & parcelles	Superficies en m²		Indice de morphométrie = L / l	Indice de conformité = P. / P. moy.
	Parcelles	Total travée *P. moy.*		
T. I		2 109		
P.1	999	*703*	1.30	+ 2.04
P.2	598		1.13	+ 1.26
P.3	512		2.00	+ 1.13
T. II		2 087		
P.4	1 029	*695*	2.30	+ 1.61
P.5	598		1.13	+ 1.29
P.6	460		1.15	– 0.99
T. III		1 670		
P.7	570	*412*	1.50	+ 1.16
P.8	440		1.10	– 0.90
P.9	500		1.25	+ 1.02
P.10	160		2.50	– 0.25
T. IV		3 319		
P.11	280	*474*	4.30	+ 1.45
P.12	891		1.20	+ 1.80
P.13	660		1.36	– 1.34
P.14	744		1.29	+ 1.50
P.15	312		1.83	– 0.69
P.16	192		3.00	– 0.371
P.17	240		2.40	
T. V		3 179		
P.18	630	*794*	2.40	– 0.37
P.19	725		1.42	+ 1.28
P.20	1 080		1.87	+ 1.42
P.21	744		1.29	+ 1.52
T. VI		3 189		
P.22	325	*455*	1.92	– 0.72
P.23	200		3.12	+ 1.04
P.24	819		1.85	+ 1.82
P.25	651		1.47	+ 1.33
P.26	294		1.50	– 0.60
P.27	300		1.33	– 0.61
P.28	600		1.50	+ 1.22
T. VII		2 620		
P.29	378	*469*	1.16	– 0.81
P.30	828		1.56	+ 1.69
P.31	469		1.26	+ 1.36
P.32	255		1.13	– 0.51
P.33	240		1.06	– 0.51
P.34	450		2.00	1.00

N^os des travées & parcelles	Superficies en m²		Indice de morphométrie = L / l	Indice de conformité = P. / P. moy.
	Parcelles	Total travée *P. moy.*		
T. VIII		1 389		
P.35	192	*347*	1.33	– 0.39
P.36	297		2.45	– 0.46
P.37	444		3.08	+ 2.31
P.38	456		3.08	+ 2.31
T. IX		1 895		
P.35'	368	*631*	1.43	– 0.75
P.37'	1 311		2.47	+ 5.58
P.39	216		2.66	– 0.33
T. X		4 754		
P.37"	1 736	*950*	2.21	+ 2.72
P.40	264		2.18	– 0.58
P.41	252		1.75	– 0.51
P.42	702		2.16	+ 1.56
P.42'	600		1.5	+ 1.26
P.43	1 200		2.9	+ 1.68
T. XI		3 036		
P.44	1 302	*607*	2.9	+ 1.75
P.45	264		1.8	– 0.58
P.46	462		1.04	1.00
P.47	483		1.09	+ 1.04
P.59	525		1.19	+ 1.13
T. XII		1 793		
P.48	360	*348*	2.5	– 0.56
P.49	388		2.0	– 0.75
P.50	434		2.21	– 0.58
P.51	286		1.69	– 0.68
P.59'	325		1.92	– 0.72
T. XIII		1 339		
P.52	100	*223*	6.25	– 0.52
P.53	350		1.80	– 0.64
P.54	108		1.33	– 0.22
P.55	264		1.8	– 0.58
P.56	192		1.33	– 0.39
P.59"	325		1.92	– 0.72
T. XIV		2 243		
P.52'	648	*560*	1.12	+ 0.40
P.53'	957		1.13	– 0.95
P.54'	198		2.44	– 0.98
P.57	440		1.1	– 0.95
T. XV		575		
P.60	575		1.08	+ 1.24
Total	35 197 m²	35 345 m²		

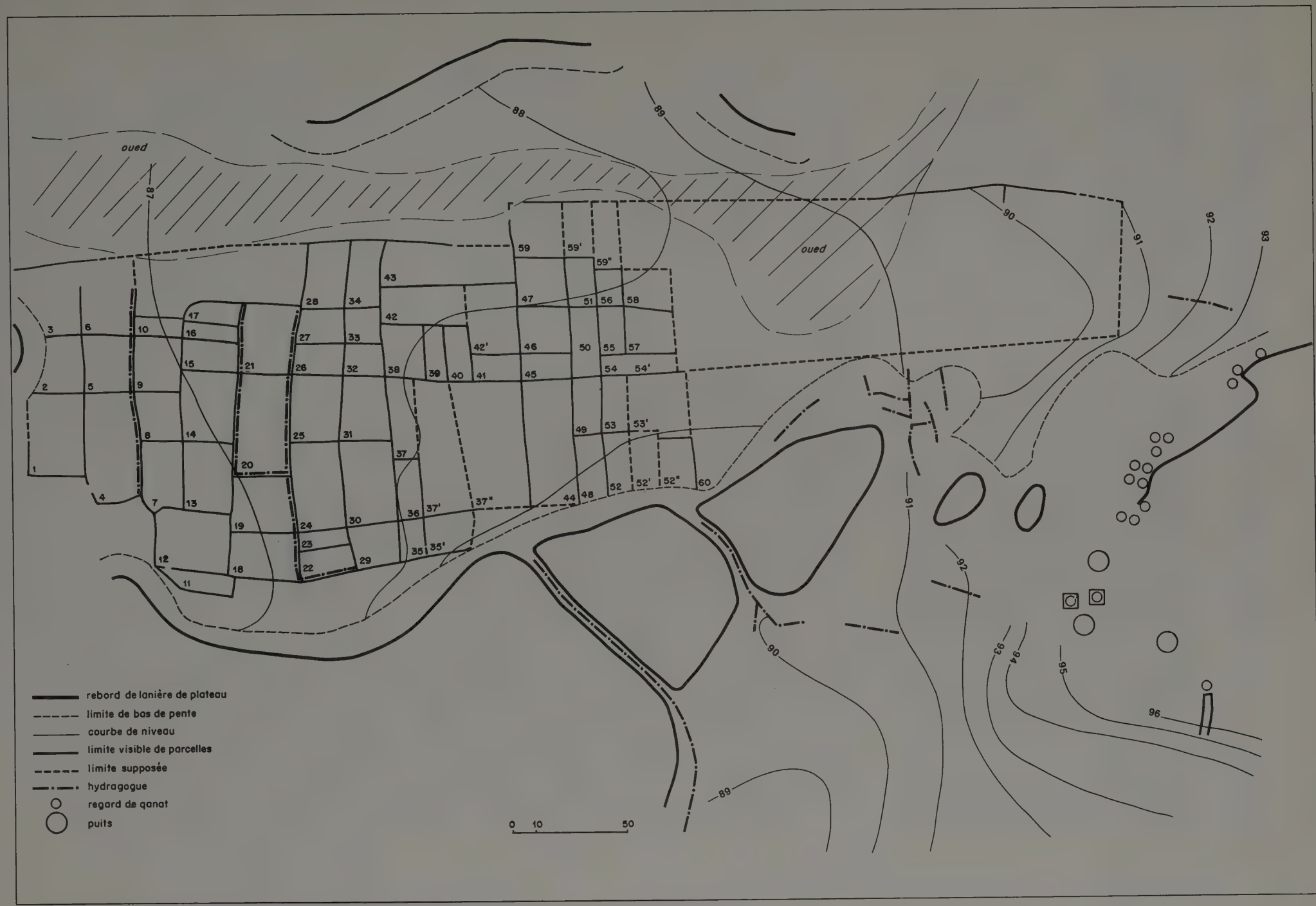


FIG. 35. *Le parcellaire d'Aïn Boreq. (Relevés topographiques (1988-1989) de M. Beuniche, Ch. Braun, P. Deleuze et situation des* qanawat *par B. Bousquet).*

L'analyse métrologique de sa structure conduit à formaliser le caractère disparate du parcellaire puisque les casiers se répartissent en cinq familles, en fonction d'un indice de morphométrie (le rapport entre la longueur et la largeur) et d'un indice de conformité (la surface d'une parcelle rapportée à la surface de la parcelle-type ou de la parcelle moyenne propre à chaque famille).

Les résultats exprimés pour chaque famille en % par rapport au nombre de parcelles (67) et en m^2 par rapport à la superficie du parcellaire et par rapport à la superficie de chaque famille confirment qu'à toutes les échelles du parcellaire l'hétérogénéité est la règle. Cet aspect diffère de celui des terroirs d'oasis régulièrement organisés et uniformes. Cette uniformité est cependant propre à chaque parcellaire. En effet la taille des parcelles peut varier d'un parcellaire à l'autre, mais non à l'intérieur du parcellaire lui-même.

L'INDICE DE MORPHOMÉTRIE

Les casiers sont classés en fonction de leur forme que définit l'indice de morphométrie Im = L/l. On distingue la famille 1 : L = l = (indice 1) = casier carré (superficie moyenne 462 m^2), la famille 3 : L = 2l = (indice 2) = casier rectangulaire (superficie moyenne 450 m^2), la famille 5 : L = 3l = (indice 3 et >3) = casier en lanière (superficie moyenne 192 m^2). Les indices intermédiaires désignent la famille 2, celle des casiers trapus (indices compris entre 1,2 et 1,7, d'une superficie moyenne de 489 m^2, et la famille 4, celle des casiers oblongs (indices compris entre 2,2 et 2,9, d'une superficie moyenne de 637 m^2). Ce classement par famille montre que les casiers sont disparates à leur propre échelle, caractère qui les oppose à la régularité des parcelles de l'hydrofoncier oasien.

Les casiers carrés et trapus sont prédominants. Les casiers en lanière, si omniprésents dans les parcellaires d'oasis sont ici très peu représentés. Les casiers carrés et trapus doivent sans doute leur prééminence à des subdivisions de casiers rectangulaires lesquels pourraient ainsi représenter le casier modulaire, sans qu'on puisse préciser la taille-unité si elle a existé, mais qui pourrait être proche de 10 ares par comparaison avec les enclos des vergers et jardins d'oasis. Il est possible qu'à l'intérieur, chacun de ces casiers soit subdivisé en planches de culture d'un module voisin de celui des autres parcellaires.

Chaque famille peut être en outre définie par la surface qu'elle occupe au sein du parcellaire, par la superficie de sa parcelle moyenne, par le pourcentage de superficie occupée au sein du parcellaire.

Famille	Surface	% du parcellaire
1	15 parcelles	22,38 %
2	22 parcelles	32,83 %
3	14 parcelles	20,89 %
4	11 parcelles	16,42 %
5	5 parcelles	07,46 %

Famille	Superficie en m^2	P. moy. en m^2	% du parcellaire
1	7514	P. moy. 462 m^2	22,50 %
2	10 763	P. moy. 489 m^2	32,50 %
3	6 759	P. moy. 450 m^2	20,00 %
4	7 011	P. moy. 637 m^2	21,00 %
5	1 216	P. moy. 192 m^2	04,00 %

La disparité caractérise également les travées pour lesquelles la juxtaposition régulière imposée par le mode de distribution de l'eau utilisé pouvait sembler la seule régularité respectée à l'échelle du parcellaire. La disparité des casiers explique en fait qu'aucune travée ne soit semblable à sa voisine.

T. I	2 109	5,96 %	**T. IX**	1 895	05,36 %
T. II	2 087	5,90 %	**T. X**	4 754	13,44 %
T. III	1 670	4,72 %	**T. XI**	3036	08,58 %
T. IV	3 319	9,38 %	**T. XII**	1743	04,93 %
T. V	3 179	8,99 %	**T. XIII**	1339	03,78 %
T. VI	3 189	9,02 %	**T. XIV**	2 243	06,34 %
T. VII	2 818	7,97 %	**T. XV**	575	01,62 %
T. VIII	1 389	3,92 %	**Total Parcellaire**	35 345 m²	

La diversité ainsi mise en valeur par cette évaluation quantitative n'est pas due à un relevé cartographique défectueux ou à une destruction partielle des digues du parcellaire. Elle semble être d'origine et liée à l'évolution des parcelles, au cours même de l'utilisation du parcellaire.

On peut en effet pour le vérifier soustraire les plus grandes parcelles des familles 3 (2 casiers) et 4 (4 casiers) > 1000 m². Au nombre de six, elles représentent 7 658 m², soit 21 % du parcellaire cartographié. Ce dernier est ainsi réduit à 28 690 m² et à 61 parcelles dont la superficie moyenne de 470 m² est proche de celle des parcelles moyennes relevant des familles 1, 2 et 3.

Famille	Superficie originelle en m²	Superficie corrigée en m²	% des familles originelles	% des familles corrigées
	33 263	26 987		
1	7 514	7 514	22 %	27,00 %
2	10 763	10 763	32 %	39,30 %
3	6 759	5 679	20 %	21,20 %
4	7 011	1 815	21 %	7,50 %
5	1 216	1 216	4 %	4,00 %

La disparité et la hiérarchie des parcelles qui les instituent, même dans ce cas, continuent à être respectées. Les parcelles carrées et trapues l'emportent sur les parcelles oblongues en particulier.

On peut également caractériser l'hétérogénéité du parcellaire à travers la diversité des indices morphométriques. Au nombre de vingt, ils définissent des parcelles dont le nombre change d'un indice à l'autre.

Indice morphométrique	Nombre de parcelles	% dans le parcellaire
1 (parcelle-type) carrée	4	5,9 %
1,1	12	17,9 %
1,2 parcelle trapue	6	8,9 %
1,3	6	8,9 %
1,4	3	4,4 %
1,5	5	7,4 %
1,6	1	1,5 %
1,7	1	1,5 %
1,8 parcelle rectangulaire	6	8,9 %
1,9	3	4,4 %
2 (parcelle-type)	4	5,9 %
2,1	1	1,5 %
2,2 parcelle oblongue	2	2,9 %
2,3	1	1,5 %
2,4	4	2,9 %
2,5	2	1,5 %
2,6	1	1,5 %
2,8	1	1,5 %
3 (parcelle-type) lanière	2	2,9 %
3,1	1	1,5 %

Pour les familles, la répartition en % est la suivante :

Famille	Répartition en %
1	23,8 %
2	32,8 %
3	20,9 %
4	16,5 %
5	6 %

L'hétérogénéité peut également s'exprimer à travers les longueurs et les largeurs utilisées. On peut par exemple retenir combien de fois une dimension a été utilisée pour délimiter les parcelles.

Largeur nombre de parcelles	dimensions utilisées pour délimiter les parcelles, en m	Longueur nombre de parcelles
1	4	
4	8	
3	9	
1	10	
2	11	
7	12	1
6	13	
2	14	
3	15	
2	16	3
1	18	
3	19	
7	20	2
7	21	3
1	22	7
7	23	3
4	24	6

Largeur nombre de parcelles	dimensions utilisées pour délimiter les parcelles, en m	Longueur nombre de parcelles
1	25	8
	26	3
2	27	2
1	28	
2	29	2
	30	6
	31	4
	32	1
	33	3
	35	1
	36	2
	37	3
	39	2
	45	1
	49	1
	56	1
	57	1
	62	1

Vingt-quatre valeurs sont utilisées pour les longueurs, comprises entre 12 m et 62 m, couvrant une différence de 50 m, de la plus petite longueur à la plus grande. Vingt ont servi pour les largeurs, entre 4 m et 29 m, soit une différence de 25 m. Les extrêmes confondus vont de 4 m à 62 m, couvrant une différence de 58 m. Le groupement autour des valeurs les plus communément utilisées aide à retrouver les limites originelles des casiers. Les valeurs plus rares soulignent les modifications ultérieures.

Les longueurs les plus utilisées (>5 fois): 25 m = 8 parcelles; 22 m = 7 parcelles; 24 m = 6 parcelles; 30 m = 6 parcelles, soit: 27 parcelles ou 40,2 % des parcelles. Pour les largeurs (>5 fois): 12 m = 7 parcelles; 20 m = 7 parcelles; 21 m = 7 parcelles; 23 m = 7 parcelles; 13 m = 6 parcelles, soit 34 parcelles ou 50,7 % des parcelles.

On peut classer en % le nombre de fois qu'une dimension a été utilisée pour les largeurs comme pour les longueurs.

Largeur / dimension	classes en %	Longueur / dimension
	11 %	25 m
12 m / 20 m / 21 m / 23 m	10 %	22 m
13 m	8 %	24 m / 30 m
8 m / 24 m	5 %	31 m
9 m / 15 m / 19 m	4 %	16 m / 21 m / 23 m / 26 m / 33 m / 37 m
11 m / 14 m / 16 m / 27 m / 29 m	2 %	20 m / 27 m / 29 m / 36 m / 39 m.
4 m / 10 m / 18 m / 22 m / 25 m / 28 m	1 %	12 m / 32 m / 35 m / 45 m / 49 m / 56 m / 57 m / 62 m

Ces différentes données permettent de souligner à nouveau la si singulière hétérogénéité de ce parcellaire à casiers, malgré une organisation en travées perpendiculaires à l'oued assez régulière. Chaque travée se révèle composée de casiers de taille différente qui appartiennent à une même famille d'indice ou relèvent de toutes les familles (indice de morphométrie).

Cette hétérogénéité semble avoir été progressivement acquise par la multiplication des casiers et par le compartimentage du parcellaire qui, de parallèle à l'oued, lui devint perpendiculaire. Cette rotation semble avoir été liée à la transformation du cheminement de l'eau. Cette nouvelle contrainte obligea sans doute à réduire la taille des casiers récents si on voulait assurer leur inondation régulière, d'autant plus qu'ils se trouvaient être les plus éloignés des arrivées d'eau d'amont.

L'INDICE DE CONFORMITÉ L'indice de conformité Ic = SPx/SPt ou Pf rapporte la superficie (S) de chaque parcelle (Px) d'une famille à la surface (S) de la parcelle-type (Pt) ou de la parcelle fictive (Pf). Il permet de caractériser les extrêmes d'une famille, ainsi que les parcelles de l'espace médian, à l'intérieur duquel peuvent être distingués les petits (–) et les grands (+) casiers.

Famille 1

- 15 parcelles carrées.
- Parcelles relevant des indices 1 à 1,1.
- Superficie de la parcelle-type : 462 m^2.
- 7 parcelles > unité et 7 parcelles < unité.
- Extrêmes entre + 1,56 et – 0,51.
- Indices moyens entre + 1,27 et – 0,82.
- Nombre de parcelles entrant dans la fourchette des indices moyens : 9 parcelles/15, soit : 60 % des parcelles de la famille 1.

Famille 2

- 22 parcelles trapues.
- Parcelles des indices 1,2 à 1,7.
- Superficie de la parcelle moyenne : 489 m^2.
- 13 parcelles > parcelle moyenne, soit 59 % des parcelles, et 9 parcelles < parcelle moyenne, soit 41 % des parcelles.
- Extrêmes entre + 2,04 et – 0,22.
- Indices moyens entre + 1,46 et – 0,55.
- Nombre de parcelles dans la fourchette des indices moyens : 12 parcelles/15, soit : 80 % des parcelles.

Famille 3

- 14 parcelles rectangulaires.
- Parcelles des indices 1,8 à 2,1.
- Superficie de la parcelle unitaire : 450 m^2.
- 5 parcelles > unité et 8 < unité, soit 35,7 % et 57 %.
- Extrêmes entre + 1,82 et – 0,58.
- Indices moyens entre + 1,24 et – 0,57.
- 8 parcelles sont comprises dans la fourchette, soit 58 % des parcelles de la famille.

Famille 4

- 11 parcelles oblongues.
- Parcelles des indices 2,2 à 2,9.
- Superficie de la parcelle type : 637 m^2.
- 4 parcelles > parcelle-type et 7 < parcelle-type, soit 36,36 % et 63,63 %.
- Extrêmes entre + 2,72 et – 0,50.
- Indices moyens + 2,24 et – 0,41.
- Parcelles dans la fourchette : 4 parcelles, soit 54 %.

Famille 5

- 5 parcelles en lanière.
- Parcelles des indices > 3 et plus.
- Superficie de la parcelle-type : 192 m^2.
- 3 parcelles > Unité et 2 < Unité.
- Extrêmes entre + 2,31 et – 0,52.
- Indices moyens entre + 1,6 et – 0,52.
- 4 parcelles/5, soit : 80 % des parcelles de la famille.

Ces différents indices confirment l'hétérogénéité du parcellaire. Autrement dit, on passe du carré au rectangle et à la lanière en fonction d'une hiérarchie établie à partir du périmètre de la parcelle, fondée ainsi sur sa superficie.

On pourrait considérer cette hiérarchie comme étant de nature fiduciaire. Sur elle devait s'établir la confiance du propriétaire au locataire, en définissant rigoureusement le temps d'irrigation et l'évaluation des redevances liées au travail, à la récolte, à l'eau ou à la durée de l'arrosage. Le casier est le bien autour duquel s'organisent la mise en valeur des terres arables et l'exploitation des puits de l'oasis. Par cette façon d'être déterminé, le casier, comme une monnaie fondée sur un taux reconnu, présentait une valeur ainsi commodément calculée pour tous les casiers d'un même parcellaire. Leur partition en est également facilitée.

Une telle hiérarchie pourrait donc se comprendre en fonction du temps d'irrigation et des différentes redevances attachées à tout casier d'un hydrofoncier. Autrement dit, chaque casier est reconnu en fonction d'un principe de détermination simple, conduisant à une estimation immédiate, déduite de la raison arithmétique qui lie la longueur à la largeur.

On peut donc classer toutes les parcelles à l'intérieur de cette hiérarchie (fig. 36).

Lignes de l'abaque L-l	N° des parcelles	Lignes de l'abaque L-l	N° des parcelles
L-l = 1	33, 46	L-l = 14	17
L-l = 2	32, 8, 57, 47, 60	L-l = 15	34, 39
L-l = 3	29, 6, 2, 5, 52', 54	L-l = 16	36, 16
L-l = 4	59, 19, 35, 56, 53'	L-l = 17	50, 23
L-l = 5	38, 9, 27	L-l = 18	48, 24
L-l = 6	31, 12	L-l = 21	20, 42, 52
L-l = 7	14, 21, 26, 35'	L-l = 25	37
L-l = 8	13	L-l = 28	4
L-l = 9	41, 51, 18	L-l = 31	11
L-l = 10	42', 28, 1, 25, 45, 55	L-l = 33	37', 37"
L-l = 11	7	L-l = 39	43
L-l = 12	22, 59', 59", 10	L-l = 40	44
L-l = 13	49, 30, 54', 40		

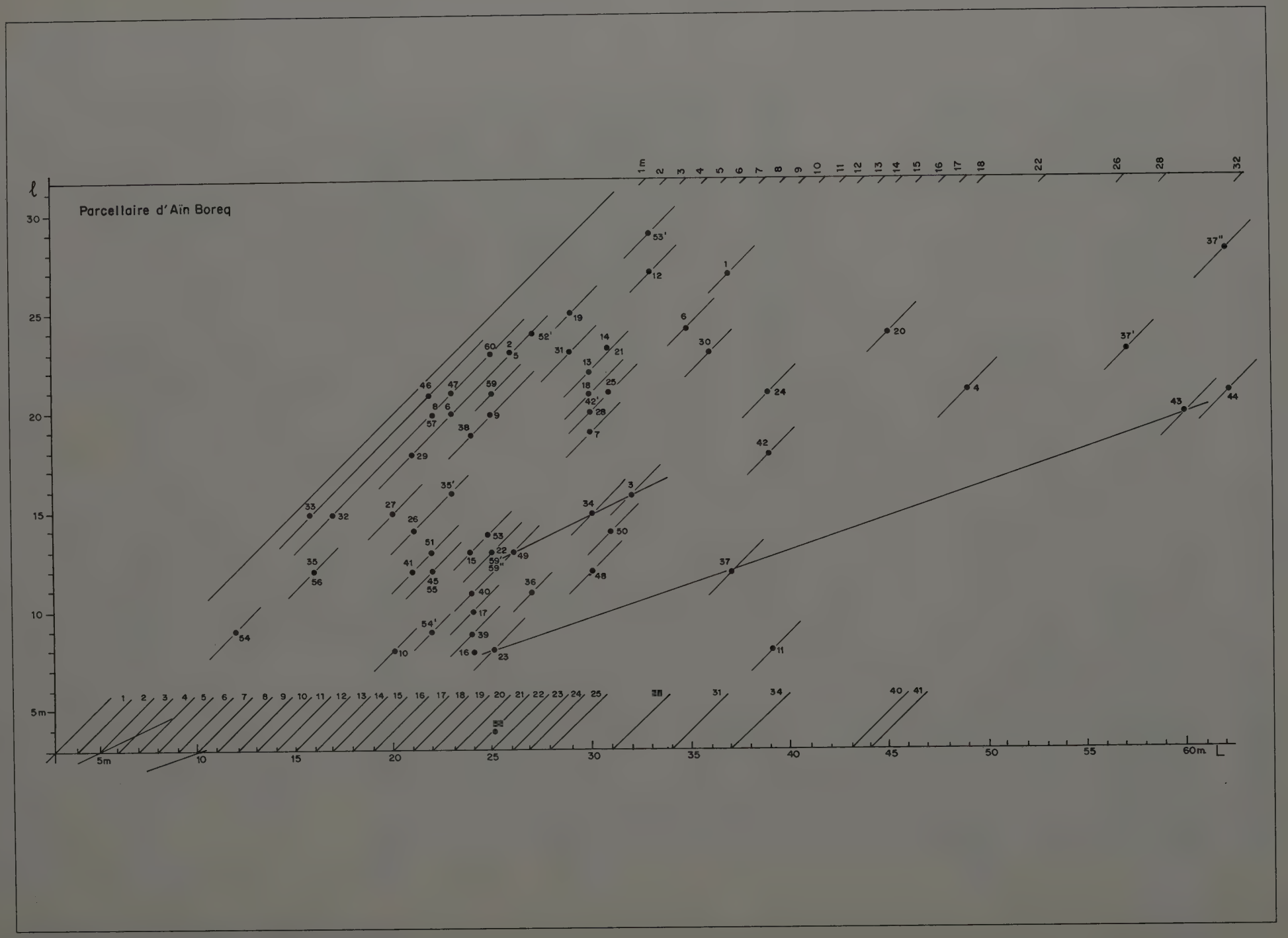


FIG. 36. *Espace-temps de l'irrigation. Parcellaire d'Aïn Boreq.*
Abaque qui permet de situer les différentes parcelles en fonction de leurs dimensions (L × l).

La progression du rapport est fondée sur une unité à l'équivalent proche du mètre (3 coudées), soit L/l = 1 = 3 coudées, L/l = 2 fois l'unité = 6 coudées,... L/l = 40 fois l'unité = 120 coudées, etc. On remarque que toutes les possibilités entre 1 et 40 n'ont pas été utilisées. Si la progression est régulière de 1 à 18 (54 coudées), elle devient irrégulière à partir de ce chiffre (fig. 36).

Ce mode de classement recoupe celui des indices descriptifs (indices morphométrique et de conformité). Il explique le passage progressif du carré au rectangle et à la lanière. Il traduit ainsi la fine partition du temps qui commande les durées d'arrosage et peut-être les subtilités des redevances, en fonction des partages ?

Il démontre la fonctionnalité du dispositif hétérogène qui commande la répartition des casiers à l'intérieur du parcellaire. Les superficies ne sont pas seulement des mesures foncières, mais des valeurs fiduciaires justifiant les temps d'irrigation et les redevances fiscales. Établir un casier de 16 m × 15 m où le rapport L-l = 1, c'est déterminer un temps d'arrosage et peut-être le montant des droits.

On peut dire que chaque superficie de parcelle est autant du temps d'irrigation inscrit à la surface du parcellaire qu'une évaluation du travail, de la récolte. C'est donc autant une étendue qu'une durée qui est subdivisée et des redevances calculées ; autant le prix du temps que celui d'une surface en fonction de la vitesse de l'écoulement et des pratiques de l'irrigation (ici, autant l'épaisseur de la lame d'eau à la surface des champs que le temps nécessaire à son élaboration).

La question est de savoir s'il y a également un rapport entre le calibre des conduits et la surface des terroirs. Autrement dit, quel temps d'arrosage fondait également le parcellaire ?

La répartition des casiers à l'intérieur du parcellaire

On peut à partir de l'indice morphométrique déterminer les superficies occupées par une même famille, telle celle des parcelles carrées et trapues (groupe 1). Ainsi dans le parcellaire, le groupe 1 se répartit-il en deux lots (fig. 35) :

- Le premier regroupe 12 parcelles dans le secteur aval nord-ouest du parcellaire, soit 7 781 m^2 (22,65 %).
- Le second en est séparé par une bande de parcelles rectangulaires disposées en échelon. Il regroupe au centre du parcellaire 13 parcelles, soit 5 973 m^2 (17,38 %).
- Des casiers de ce groupe se répartissent, enfin, dans le secteur oriental du parcellaire en ordre dispersé ; rarement jointifs, ils s'intercalent entre des parcelles surtout de type rectangulaire, soit 8 parcelles qui représentent 3 172 m^2 (9,23 %).

Les parcelles des familles trois et cinq ne forment jamais des lots aussi nettement caractérisés. Les parcelles oblongues sont en outre de superficies différentes. Les plus grandes semblent avoir été conçues dès l'origine à l'échelle d'une travée. Les plus petites semblent, en revanche, avoir été définies ultérieurement par subdivision d'une parcelle originelle plus vaste.

La parcelle n° 44 a une superficie de 1 302 m^2. Les quatre parcelles voisines n°s 48, 49, 52, 53 groupées atteignent une superficie totale de 1 322 m^2. Outre les superficies comparables, on observe que si les limites entre travées sont à l'échelle du parcellaire, celle des subdivisions internes et transverses aux quatre parcelles qu'elles séparent deux à deux, n'ont aucune réalité à cette échelle. Elles sont très localisées et semblent casuelles. Elles révèlent un partage, successoral peut-être, ou bien sont les conséquences d'un recouvrement de dette [257]. Ce cas n'est pas unique.

La parcelle n° 25, 650 m^2 (indice morphométrique 1,47) est prolongée par les parcelles n°s 26 et 27 dont les surfaces additionnées donnent 638 m^2 (indice morphométrique 1,5 et 1,33). Elles sont jointives aux parcelles n°s 33 et 32 (500 m^2) et toutes quatre sont séparées par une limite particulière à l'échelle de l'ensemble des casiers.

Une disposition similaire confirme la partition en trois casiers (n° 15 [312 m^2], n° 16 [192 m^2], n° 17 [240 m^2]), d'une parcelle dont la superficie reconstituée est de 744 m^2. Cette superficie est identique à celle de la parcelle jointive voisine, n° 21 (744 m^2). Les limites internes transverses qu'on observe ne sont pas non plus à l'échelle du parcellaire.

On peut signaler un dernier cas. La parcelle n° 38 (456 m^2) est voisine des parcelles jumelles n° 39 (216 m^2) et n° 40 (264 m^2) qui semblent être dérivées d'une parcelle plus grande, antérieurement semblable à leur voisine (indice morphométrique 1,2) et d'une superficie originelle comparable à celle du n° 38.

Ces cas démontrent que l'hétérogénéité est un caractère acquis. Ils confirment que le parcellaire a été utilisé pendant un certain temps puisque les formes originelles des casiers ont évolué. L'indice de morphométrie indique que la parcelle rectangulaire a dû être la parcelle originelle avant d'évoluer par partition vers la famille des parcelles plus carrées ou trapues. On peut également signaler des cas d'agrandissement de parcelle, sans doute le cas des parcelles n°s 42 et 43.

Les lanières les plus étroites ou les parcelles les plus petites semblent également être l'aboutissement d'une partition.

On remarque qu'il existe aussi une diminution des parcelles pour des raisons techniques. Les parcelles sont plus petites en fin du cheminement de l'eau.

Certaines parcelles sont également petites à la marge du parcellaire proche de l'oued. Les terres cultivables devaient présenter une superficie moindre, outre le danger d'être à proximité de l'oued. Il semble en effet qu'une partie du parcellaire ait été emportée et détruite par une crue. Il est également certain qu'une partie a dû être recouverte par une décharge de crue responsable des blocs disséminés à sa surface.

Le tableau suivant reclasse les parcelles en fonction de divers critères qui soulignent l'hétérogénéité spatiale de la distribution des parcelles comme leur hétérogénéité morphologique.

[257] H. Cuvigny, G. Wagner, *Les ostraca grecs de Douch*, *DFIFAO* 24/1-2, Le Caire, 1986-1988.

TABLEAU 9. *Les casiers du parcellaire d'Aïn Boreq.*

In = *indice.* **N°T** = *N° de travée.* **N°P** = *N° de parcelle.* **Lxl** = *valeur de la longueur et de la largeur.*
SP m² = *Surface de la parcelle en m².* **ST m²** = *surface de la travée en m².*
SPmy = *surface moyenne de la parcelle en m².* **%** = *% par rapport au parcellaire.* **Ec-L** = *écart – longueur.*
Ec-l = *écart – largeur.* **R-Ec** = *rapport des écarts.* **V-Ec** = *Valeur des écarts.*

In	N° T	N° P	Lxl	SPm²	STm²	SPmy	%	Ec-L	Ec-l	R-Ec	V-Ec
1,0	VII	33	1 615	240	1 710	440	4,97	9	8	1,12	1-2 m
	IX	46	2 221	462							
	IX	47	2 321	483							
	XV	60	2 523	575							
1,1	VII	32	1 715	255	6 024	547	17,04	16	14	1,14	2-4 m
	VII	29	2 118	378							
	III	8	2 220	440							
	XIV	57	2 220	440							
	II	6	2 320	460							
	XI	59	2 521	525							
	I	2	2 623	598							
	II	5	2 623	598							
	XIV	52'	2 724	648							
	V	19	2 925	725							
	XIV	53'	3 329	957							
1,2	VIII	38	2 419	456	4 002	667	11,32	9	8	1,12	5-7 m
	III	9	2 520	500							
	VII	31	2 923	667							
	IV	14	3 124	744							
	V	21	3 124	744							
	IV	12	3 327	891							
1,3	XIII	54	1 209	108	2 451	408	6,93	25	18	1,38	5-10 m
	VIII	35	1 612	192							
	XIII	56	1 612	192							
	VI	27	2 015	300							
	IV	13	3 022	660							
	I	1	3 727	999							
1,4	IX	35'	2 316	368	1 649	549	4,66	8	5	1,6	2-9 m
	V	18	3 021	630							
	VI	25	3 121	651							
1,5	VI	26	2 114	294	2 892	578	8,18	15	9	1,66	7-13 m
	III	7	3 019	570							
	VI	28	3 020	600							
	X	42'	3 020	600							
	VII	30	3 623	828							
1,6	XII	51	2 213	286			0,008			1,69	9 m
1,7	X	41	2 112	252			0,007			1,75	9 m

In	N° T	N° P	Lxl	SPm²	STm²	SPmy	%	Ec-L	Ec-l	R-Ec	V-Ec
1,8	XI	45	2 212	264	3 089	514	8,73	23	12	1,91	9-21 m
	XIII	55	2 212	264							
	IV	15	2 413	312							
	XIII	53	2 514	350							
	VI	24	3 921	819							
	V	20	4 524	1 080							
1,9	VI	22	2 513	325	975	325	2,75			1,92	12 m
	XII	59'	2 513	325							
	XIII	59"	2 513	325							
2,0	XII	49	2 613	338	1 300	433	3,67	6	3	2	1 316 m
	VII	34	3 015	450							
	I	3	3 216	512							
2,1	X	40	2 411	264	966	483	2,78	15	7	2,14	3-21 m
	X	42	3 918	702							
2,2	XII	50	3 114	434	2 170	1 035	6,13	31	14	2,21	1 734 m
	X	37"	6 228	1 736							
2,3	II	4	4 921	1 029			2,9			2,3	
2,4	XIV	54'	2 209	198	2 046	511	5,78	35	14	2,5	1 234 m
	IV	17	2 410	240							
	VIII	36	2 711	297							
	IX	37'	5 723	1 311							
2,5	III	10	2 008	160	520	260	1,47	10	4	2,5	1 218 m
	XII	48	3 012	360							
2,6	IX	39	2 409	216			0,006			2,6	15
2,9	II	44	6 221	1 302			3,68	36	12	2,95	41
3,0	IV	16	2 408	192	1 836	612	5,19	36	12	3	1 640 m
	VIII	37	3 712	444							
	X	43	6 020	1 200							
3,1	VI	23	2 508	200			0,006			3,12	17
4,3	IV	11	3 908	280			0,007			4,37	31
6,2	XIII	52	2 504	100			0,002			6,25	21

Ce parcellaire est constitué de casiers dont la superficie se modifie du carré à la lanière étroite, par l'intermédiaire de formes graduellement rectangulaires. Cette transformation semble être fondée sur un rapport arithmétique qui oppose la largeur à la longueur, sans que toutes les virtualités de la progression soient systématiquement utilisées. Cette disparité résulte peut-être de la subdivision des plus grands casiers à la suite de partages successoraux, à l'aide d'une méthode géométrique simple, à valeur fiduciaire, ayant pour instrument de mesure une corde étalonnée en coudées, comme peut le suggérer le mot retrouvé dans les *ostraca* de Douch ?

Surtout, il semble que la technique d'irrigation du parcellaire ait été modifiée au cours du temps. Les champs à haute digue qui le caractérisent ne sont pas ceux d'une irrigation par conduits ou chenaux d'amenée développée dans les parcellaires de plaine. Le parcellaire d'Aïn Boreq pourrait être, à l'origine, un parcellaire de décrue aménagé en un parcellaire irrigué par puits et *qanawat*. Son emplacement sur une très basse terrasse d'oued

confirmerait l'antériorité de ce type. Les digues parallèles au lit de l'oued définiraient la structure la plus ancienne. Les digues transversales auraient été utilisées et remodelées par la suite pour servir de supports aux hydragogues. Les aqueducs auraient organisé la subdivision en travées laquelle est devenue l'organisation majeure de l'hydrofoncier. On peut donc concevoir le parcellaire de décrue comme étant le parcellaire primitif. Il faudrait également dissocier dans le temps ces phases successives d'aménagement. Un autre exemple proche de ce type peut être décrit également à Tell-Douch.

3.18.3 LE PARCELLAIRE DE DÉCRUE

Cet autre type consiste en une surface délimitée par un mur aval qui est une diguette avec déversoir, et deux murs latéraux. La superficie ainsi définie est submergée par la crue d'une nappe d'eau voisine. Au moment du reflux, les déversoirs sont fermés et l'eau retenue à l'intérieur du périmètre disparaît dans les sols par infiltration. On sème sur la surface humide.

Les murs enfouis du piémont de Tell-Douch ouest pourraient représenter un parcellaire de ce type. En limite d'une mare, dont le fond est aujourd'hui encroûté de sel, les bas de pente du *tell* auraient pu être soumis à un régime de crue et de décrue. Les bords inondés auraient fixé des terroirs qui ont pu servir de modèle au développement de l'agriculture irriguée par inondation. La réserve hydrique enfouie dans le sol aurait été en outre entretenue par l'eau des réservoirs très ruinés, aménagés dans les limons gris de la pente amont (photos 51, 155). Une grande part des installations est actuellement sous les sables comme l'a vérifié une fouille partielle entreprise sur ce piémont.

3.18.4 LE PARCELLAIRE DE PLAINE

Il faut distinguer le parcellaire des *qanawat* de celui des puits (photo 72). La morphologie des parcelles, la hauteur des digues de ceinture et le mode d'irrigation diffèrent de l'un à l'autre type.

Le parcellaire de plaine, quel que soit l'équipement hydraulique qui lui fournit l'eau, s'étend au delà du piémont des reliefs de grès que forent pourtant les *qanawat* associés en réseau (Tell-Douch, Aïn Ziyada, Dikura, Aïn Manawir). Il est donc souvent parcellaire de *qanat*.

L'établissement de ce type de terroir réclame une organisation rigoureuse du transport de l'eau. Bordé d'une digue de ceinture, intérieurement subdivisé en travées par les hydragogues (photo 156) et, subsidiairement, en casiers ou planches (photo 157), le sol de culture voit son arrosage être assuré par des chenaux secondaires et des rigoles terminales. La profondeur de leurs incisions est à l'échelle des unités traversées, comme le souligne la réduction progressive des surfaces mouillées des rigoles ou des conduits. La maîtrise de l'eau résulte de la rationalisation de son cheminement.

Le parcellaire est à l'intérieur organisé selon une géométrie régulière, qui le subdivise en bandes (fig. 37). De ses bordures, les conduits et les rigoles dirigent l'eau vers les champs. Les parcelles sont des planches étroites (10 m × 3 m, soit 30 m^2 en moyenne), façonnées aux dépens du limon éolien et séparées par des rigoles creusées à même la terre arable (photo 158). Leurs surfaces ont été aplanies et les petits polygones de dessiccation qui les découpent relèvent d'une irrigation par inondation. Ces deux caractères déterminent l'inamovibilité de l'aménagement.

Quand les champs sont tracés à la surface des argilites (photo 159), ils ont une superficie plus petite. Ils se présentent sous la forme de carrés de 16 m^2 que séparent des levées basses. Les rigoles d'amenée d'eau serpentent à leurs limites (Tell-Douch nord).

On trouve enfin des parcellaires à larges mailles quadrangulaires (photos 160, 161) dont les champs ont été dégagés à la surface de nappes d'épandage sableuses et chargées de cailloux transportés ou fournis par les minces bancs siliceux des argilo-schistes, qui à l'affleurement donnent des surfaces de couleur très sombre.

Ces parcellaires couvrent plusieurs hectares et leur plan régulier en fait des périmètres d'irrigation spécialisés dans des cultures de lumière, les céréales, comme le suggère également l'horizon raciné fossilisé par infiltration et dépôt de sel.

Leur nombre est variable, selon les sites, en raison des transformations de leur environnement. À Aïn Ziyada, comme à Dikura, à cause de l'ensablement, les parcellaires ne sont plus visibles, sauf exception (photo 162). Des chenaux d'amenée peuvent reparaître à l'arrière d'une dune, inscrits à la surface du sol qui vient d'être mis au jour (Dikura est et nord). Des vestiges de digues de ceinture constituent des levées à l'enveloppe parsemée de silex (Dikura nord). Subsistent également des casiers d'irrigation malgré le sable qui les atténue. Ils se repèrent à l'intérieur des périmètres à l'horizontalité très accusée de leur fond (photo 163) ; ou encore à la présence de croûtes (photo 164) qui, voisines de surfaces argileuses à polygones de dessiccation, déterminent ce zonage si spécifique des terroirs irrigués, à leur périphérie.

Ces parcellaires de plaine sont en revanche conservés de part et d'autre du *tell* de Douch, au sud sur de vastes surfaces et au nord aux alentours immédiats de la butte et dans la plaine. Au sud du *tell*, l'ensablement ne permet plus de situer avec précision les terroirs alimentés par le réseau des douze *qanawat* qui y a été décrit. On peut, cependant, en s'aidant du quadrillage des digues principales devenues des bourrelets sableux, retrouver les casiers d'irrigation dont les emplacements se repèrent à de grandes plages lisses de sable (photo 129). La même configuration topographique se retrouve à l'est dans la dépression entre Tell-Douch et Dikura.

En revanche, un parcellaire aux restes encore très apparents s'étend dans la plaine au nord du site, alimenté par le *qanat* à fosses situé au droit du temple en briques (fig. 38). L'eau est amenée aux champs par des conduits à l'extrémité desquels se trouvait un ralentisseur d'écoulement, sous la forme d'une cuvette en terre cuite (photo 164). Ces tuyaux d'un diamètre de 12 cm sont les branchements secondaires d'une conduite principale, d'un diamètre de 22 cm, dont les éléments emboîtés ont été retrouvés encore en place au fond de la tranchée du *qanat* (photo 13).

Pour cet hydrofoncier, la planche d'irrigation a en moyenne 35 m^2 (soit 15 m × 2,5 m). On peut encore en délimiter au moins une cinquantaine, disposées perpendiculairement à

l'hydragogue resté le plus visible qui est long de 130 m, à partir de son branchement sur le chenal d'amenée principal. Comme le parcellaire est subdivisé en douze travées, l'installation hydraulique irriguait au moins 600 parcelles (photo 158). Ce terroir couvre dans ses actuelles limites visibles 21 840 m^2, soit 218 ares et demi, ou plus de 2 ha. D'autres, situés à son voisinage, plus à l'est, couvrent respectivement 4,35 ha, 5 ha et 4,5 ha. Les parcelles sont désormais perchées au dessus des secteurs les plus creux de la dépression dont une partie est fossilisée par des croûtes de sel qui viennent sceller et obturer les conduites de terre cuite (photo 164).

Les conduits sont constitués d'éléments cylindriques d'un diamètre de 11 cm et d'une longueur de 33 cm. Long de 130 m, l'hydragogue était constitué de 400 éléments. La surface mouillée de l'un d'entre eux est de 94 cm^2, capable d'un débit de 18 l/sec., ou 64 m^3/h, soit 1 m^3 à la minute. L'installation qui compte dix hydragogues, apportait théoriquement 10 m^3/mn au parcellaire.

Chaque parcelle, si elle est recouverte de 10 cm d'eau pour que soient assurées la capacité au champ et une bonne imbibition du sol raciné (8 cm), doit être inondée par 1,8 m^3. Comme le parcellaire couvre 21 840 m^2, son arrosage réclame 39 312 m^3, soit, un temps d'irrigation d'une durée de 65 h ou de 2 jours et 17 heures.

En plaine, à côté de ces parcellaires de *qanawat* et indépendants d'eux existent des parcellaires de puits, retrouvés soit au sud de Kysis, soit entre Kysis et Dikura et plus au nord, soit près de la nécropole. Là, à proximité de petites parcelles carrées ou trapues assez récentes, on observe des parcellaires antiques qui ont perdu leur terre arable par déflation. Ailleurs, certains ont été scellés par des croûtes qui recouvrent la surface du champ, ou indurent les basses diguettes de bordure d'une carapace gypseuse violette, car riche en particules fines fournies par les argilites lie de vin de la plaine. Parfois, le sable nappe d'un voile mince l'ancien aménagement.

Ces parcellaires de puits (photo 163) sont également bien conservés entre Tell-Douch et Dikura. Une douzaine de cabanons (photo 165) de champs y a été retrouvée (fig. 39). Des murs de briques à mélange de sable et limon et riche en paille délimitent une cour à l'intérieur de laquelle se trouve une cabane (fragment en bois d'une clef d'époque romaine, cendres, foyers, plat de terre cuite et tessons). À l'intérieur, la pièce unique comprend des bacs (à grains ?) adossés aux murs. Des appentis et des mangeoires sont attenants à la bâtisse principale. Ces cabanons sont perchés sur un petit tertre à sommet plat. Les parcelles plus creuses, véritables casiers d'inondation, se repèrent au quadrillage de leurs levées voisines (fig. 40). Ce type de parcellaire à casiers profonds et bordés de levées hautes de 1,20 m pouvait être spécialisé dans la culture des arbres. De semblables existent à la bordure du désert, en Syrtique.

Au sud de Douch, à 2 km, se trouve un parcellaire divisé en quadrilatères incomplètement délimités par des murs contre lesquels ont été entassés des rebuts de limon induré qui contiennent des tessons (photos 166, 167, 168). Ces refus stériles ont été accumulés contre les murs d'enclos, après qu'eût été décapée la surface des parcelles trop nourrie de sel. Ces compartiments étaient irrigués par une ligne de puits. À l'intérieur des enclos mis en culture, dans le prolongement de l'exutoire du puits, des rigoles comblées de sable ont été retrouvées, au ras du sol, relayées par des conduits en terre cuite incrustés de sel (photos 169, 143). Leur tracé présente des dérivations secondaires qui réalisent la division

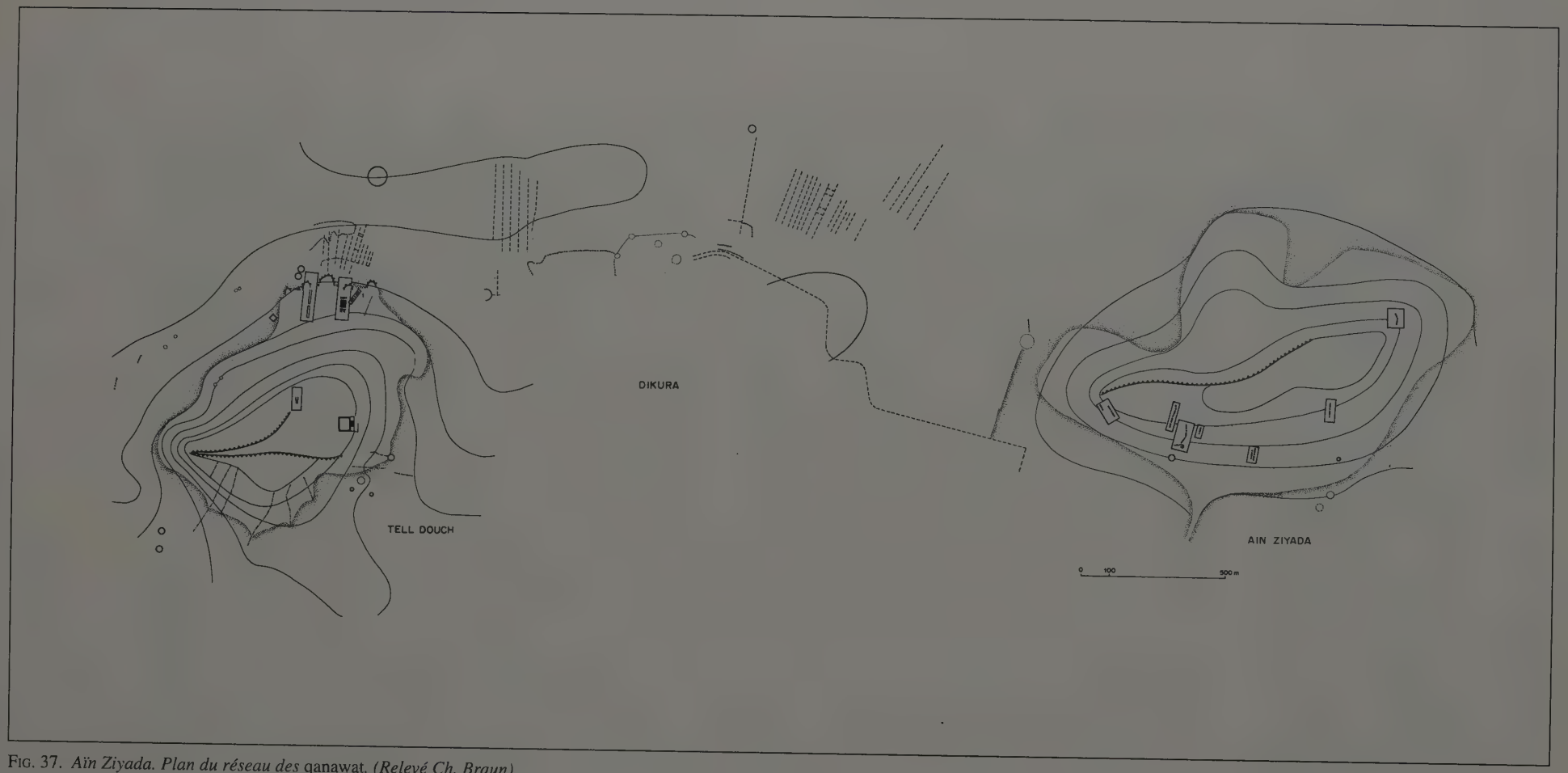


FIG. 37. *Aïn Ziyada. Plan du réseau des* qanawat. *(Relevé Ch. Braun).*

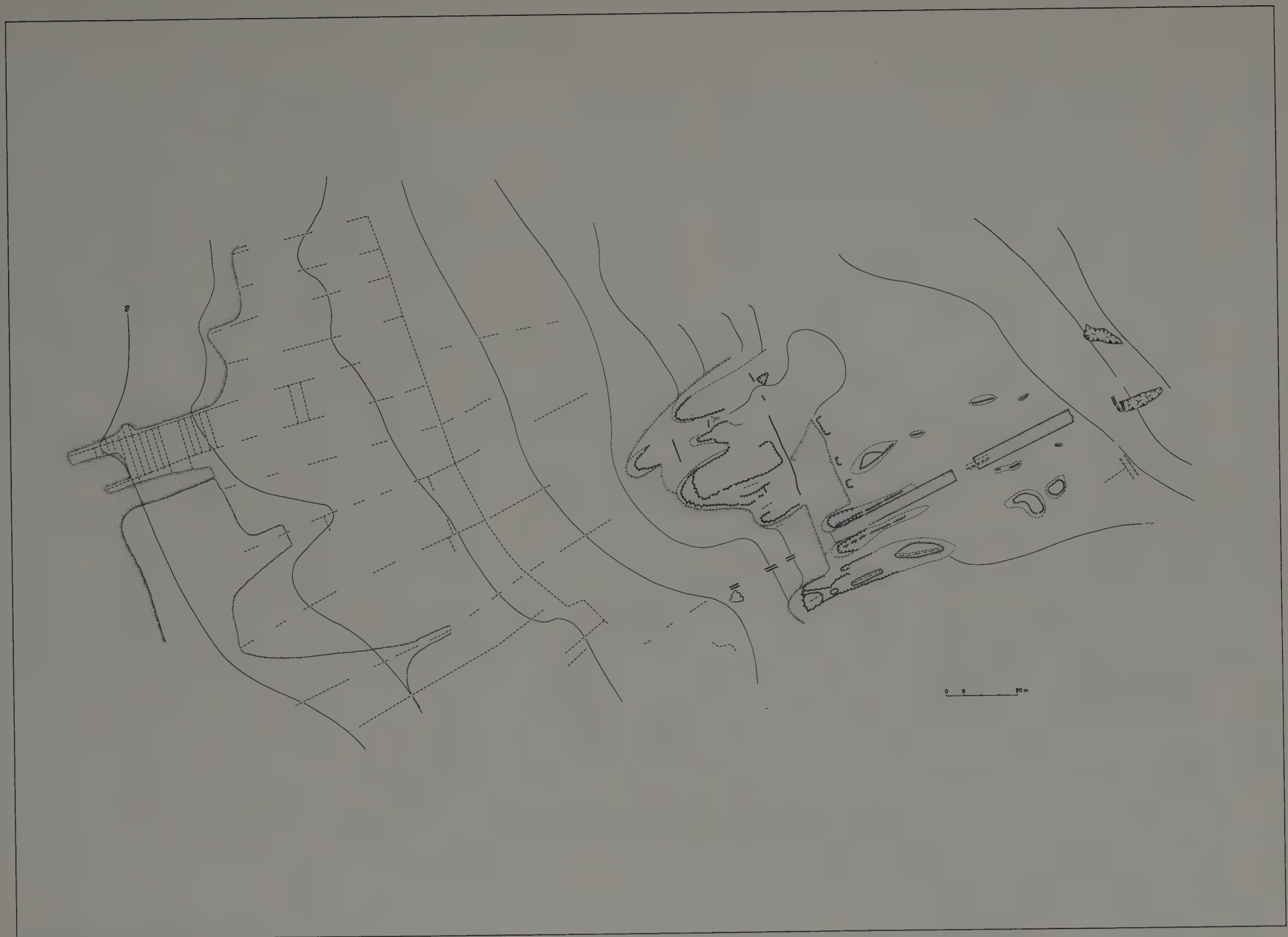


FIG. 38. *Plan d'un parcellaire de plaine. (Relevé Ch. Braun).*

de l'enclos en casiers d'irrigation, eux-mêmes subdivisés en planches de culture. Les rigoles des parcelles étroites et irriguées par inondation complètent le dispositif.

À proximité, s'observe le carroyage d'un parcellaire récent qui a été tracé à même la couverture de sable. Il se superpose à un parcellaire plus ancien (photo 170) dont les champs et les diguettes ont été fossilisés par une mince croûte de gypse éolisée, comparable à celle observée à Douch nord (photo 52).

Enfin, plus au sud encore, on retrouve des traces de parcellaires à grands casiers ouverts et plats (photo 171), dont on ne sait quels sont les équipements hydrauliques qui fournissaient l'eau. La surface des champs, très ensablée de nos jours (photo 172), présente un semis de silex dont on se demande l'utilité. Ce pavage de pierrailles a pu jouer le rôle d'une surface de condensation. En effet les enregistrements effectués sur place montrent que l'hygrométrie de l'air peut être fort élevée en fin de nuit et atteindre jusqu'à 90 % (fig. 14). Si actuellement l'air est trop sec pour permettre l'apparition de la rosée, peut-être dans l'Antiquité sa formation pouvait-elle être plus fréquente. Les cultures de ces champs auraient été ainsi alimentées en eau grâce à ce recouvrement pierreux. Actuellement, on observe qu'à l'aube, sous les croûtes de sel, le sable est légèrement humide et poisseux. La cimentation des grains peut donc s'effectuer et l'épaississement toujours en cours de l'encroûtement se poursuivre. Un phénomène similaire d'humectation a pu s'exercer à l'échelle de cette couverture caillouteuse et provoquer une condensation sous les pierres profitable aux racines. La rosée nocturne reste en effet le seul processus naturel qu'on puisse invoquer en l'absence de toute installation d'irrigation.

On peut estimer enfin que de tels parcellaires très éloignés ne servaient qu'occasionnellement. Installés sur une plaine d'épandage, à l'extrémité de cônes d'oued récents (pl. I), ces terroirs pouvaient être inondés à l'occasion d'une crue plus forte. L'événement inhabituel pouvait donner lieu à une récolte de céréales exceptionnelle. Une moisson d'appoint imprévue se réalisait sur ces terroirs forains en marge des finages habituels.

3.18.5 LE PARCELLAIRE-VERGER D'OASIS

Ce parcellaire peut être irrigué par puits (Tell-Douch) ou par *qanawat* (Aïn Manawir). On le trouve en piémont des buttes, à proximité des habitations (fig. 41). Outre le site topographique, le développement d'un mur continu de clôture le différencie des précédents [258]. Des vestiges montrent que, en pisé ou en briques (fig. 42) reposant sur une assise inférieure de terre montée à partir de palplanches, la clôture individualisait des enclos (photos 173, 174, 175). L'un de dix ares, rectangulaire (47 m × 22 m), se présente à Aïn Manawir subdivisé en lanières étroites. Les planches sont séparées par des rainures d'irrigation. Elles exposent des surfaces indurées parce qu'arrosées par inondation. La part d'écoulement qui leur revient est réglée par une vanne à blocs de grès, placée en tête du champ.

[258] En vieux persan le mur d'enceinte se dit pairi-dae'za, ce qui donnera paradis. Peut-on faire dériver le paysage du verger clos d'une influence perse et ainsi dater l'apparition de ce type de parcellaire du temps de leur occupation ?

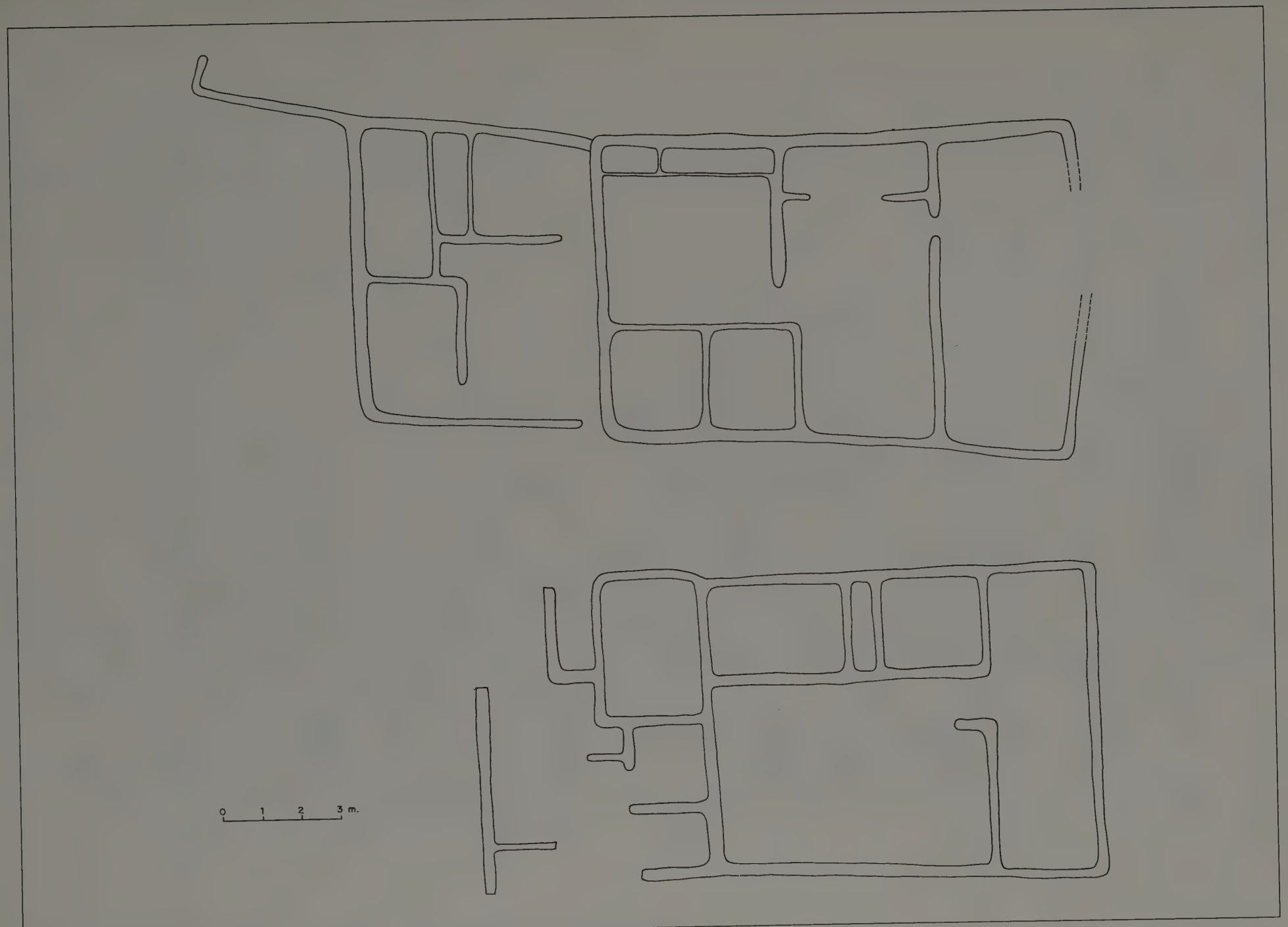


FIG. 39. *Plan de deux habitats du parcellaire du puits en plaine à Tell-Douch. (Relevé B. Bousquet et M. Robin).*

FIG. 40. *Plan du parcellaire à casiers d'irrigation. Puits en plaine à Tell-Douch nord. (Relevé B. Bousquet et M. Robin).*

Au pourtour, des arbres complètent le paysage de cette agriculture d'oasis. En effet si certains enclos isolent des vergers de palmiers au sol nu sur lequel pouvait s'effectuer le séchage des dattes, en bordure des champs ont été retrouvés des plants d'oliviers irrigués (racines en place et cuvette d'irrigation creusée autour du pied, à Tell-Douch et Aïn Manawir). L'arbre détient une place éminente au sein de ces parcelles, puisque l'irrigation par canaris y était également pratiquée. Par lui se définit le verger d'oasis.

À Kysis, au pied même de la butte, à son piémont nord, des parcellaires dont seulement une partie a été mise au jour s'étendent continûment depuis la maison de fouilles à l'ouest jusqu'à la hauteur des habitats dont les fondations retrouvées se situent au droit du temple en pierres, à l'est. Ils sont installés sur le limon aplani pour eux, en une succession de parcellaires de taille différente (photos 176, 177, 178, 179).

Cette portion de l'oasis de Kysis à parcellaires clos était irriguée directement par des points d'eau (source) situés à la base du versant. L'eau d'arrosage est fournie par un chenal d'amenée, parallèle au front de la butte, et sur lequel s'alimente un réseau hiérarchisé de petites rigoles perpendiculaires incisées à même le substrat limoneux (traces à proximité de la maison de fouilles). À l'intérieur du parcellaire, les drains sont parfois dédoublés de part et d'autre d'une levée centrale complantée d'arbres (photos 180, 181, 182) dont les emplacements retrouvés sont disposés à intervalle assez régulier. Il peut s'agir de palmiers si on juge d'après le diamètre, le bourrelet circulaire et la présence d'un rejet à côté de la tige principale. Mais d'autres arbres peuvent se tenir isolés en bordure du parcellaire (olivier, Tell-Douch nord). L'ensemble est délimité par des murs à la hauteur inégalement conservée ou dont on retrouve le tracé au sol.

Le palier était fractionné en petites unités regroupant une vingtaine de planches de culture. À l'intérieur des enclos, les parcelles se disposent les unes par rapport aux autres, parallèlement ou perpendiculairement aux rigoles. Cet agencement prouve que l'arrosage s'opérait soit par inondation (photo 183), soit par débordement latéral à partir du chenal d'amenée. Une des fractions de ce verger d'oasis présente des champs de 6 m × 3m = 18 m^2. En en groupant dix-huit, cette portion du verger développe ainsi une superficie de 324 m^2 ou de 3,24 ares. La portion voisine se subdivise en parcelles de 9 m × 3,5 m = 31,5 m^2. Avec trois parcelles repérables, cette fraction a une superficie de 94,5 m^2.

Certaines de ces parcelles présentent une surface aplanie, à petits polygones de dessiccation (assèchement d'une surface inondée), certaines un sol modelé en billons ou par un labour à plat (binage). Les champs portent des traces d'outils à griffes (photo 184) et de piétinement (traces de pas dans un couloir au sol détrempé, photos 185, 186). Un verger de palmiers associés à d'autres arbres (olivier) leur est attenant (racines et emplacement des troncs, photo 187). Un foyer, des traces d'un culot de cruche imprimé dans le limon et celles de piquets, supports d'une toile contre le soleil, y déterminent un lieu de repos isolé par des murs. Enfin dominé par une butte profilée, un petit baquet de terre ceinturé de brique complète ce secteur aménagé par le fellah.

À Aïn Manawir, de semblables parcellaires ont été retrouvés sur le piémont nord de la plus haute et de la plus volumineuse de toutes ces buttes-réservoirs [259]. Ils sont constitués de champs étroits (photo 188), et entourés d'un mur de briques dont on retrouve un des témoins couché à terre (1,20 m de haut, fig. 42 a). Son soubassement a été modelé par palplanche, et renforcé à intervalles peu réguliers de contreforts intérieurs. Ces parcellaires clos sont disposés par paliers, attenants les uns aux autres, ou séparés par des passages. Alentour, on dénombre d'autres parcellaires sans enclos, constitués de parcelles rectangulaires ou carrés. Le terroir est organisé à partir de diguettes et à ses bords se retrouvent des emplacements d'arbres (restes de racines).

3.19 UN HYDROFONCIER DIVERSIFIÉ

L'hydrofoncier du finage est caractérisé par deux types de terroirs :

– celui des périmètres d'irrigation, qui doivent l'organisation géométrique de leurs champs et de leurs parcelles à un quadrillage régulier de digues et de levées. Ces parcellaires déterminent des terroirs de champs ouverts, sans arbres et destinés à des cultures de lumière. On les trouve en plaine et sur les basses terrasses des oueds. Ils sont irrigués aussi bien par *qanawat* que par puits. Les parcellaires à casiers d'irrigation profonds pourraient avoir été en revanche plus spécialement destinés à l'arboriculture ou à la vigne ;

– celui du jardin d'oasis, compartimenté par des murs derrière lesquels l'organisation des parcelles étroites est commandée par le plan des rigoles, et leurs faciès par les systèmes d'arrosage et les modes culturaux. La présence des arbres donne à ce terroir son aspect d'oasis permanente, ombragée, parcourue par une eau courante distribuée selon des règles. Elle lui ajoute le rôle d'un verger, car à côté des planches de cultures bordées d'arbres, des enclos sont réservés aux seuls arbres à fruits (palmier, olivier et vigne en pergolas).

Les équipements hydrauliques sont indépendants, semble-t-il, de la diversité si manifeste du paysage agraire. Les puits et les *qanawat* fournissent l'eau à l'un et à l'autre terroir. Pour des raisons techniques, l'écoulement sous pression des *qanawat* est destiné, de préférence, aux parcellaires les plus éloignés de plaine, ouverts et sans arbres.

Ces multiples systèmes hydrauliques, depuis le point d'eau de plaine jusqu'aux labyrinthes de taupes des collines, traduisent la présence d'une eau abondante. Il semble cependant que la ressource soit devenue plus rare et qu'elle ait donné lieu à une recherche à tout prix, quand pour soutenir le débit ont été couplés puits et *qanat*, pourtant dissociés d'habitude. L'abandon du site pourrait être dû à cette déficience, d'autant plus inexorable que les conditions climatiques et hydrogéologiques favorables au fonctionnement de l'artésianisme se sont, sans doute, progressivement modifiées. Techniquement, il n'a pas

[259] Il est curieux de constater que ce site riche en *qanawat* de type iranien est également caractérisé par des parcellaires clos. Faudrait-il conclure que le site d'Aïn Manawir pourrait être ancien et non pas un hameau secondaire édifié à l'époque romaine définissant la période de l'expansion la plus dynamique de l'occupation des oasis ? La fouille du temple trouvé dernièrement pourra apporter un début de réponse.

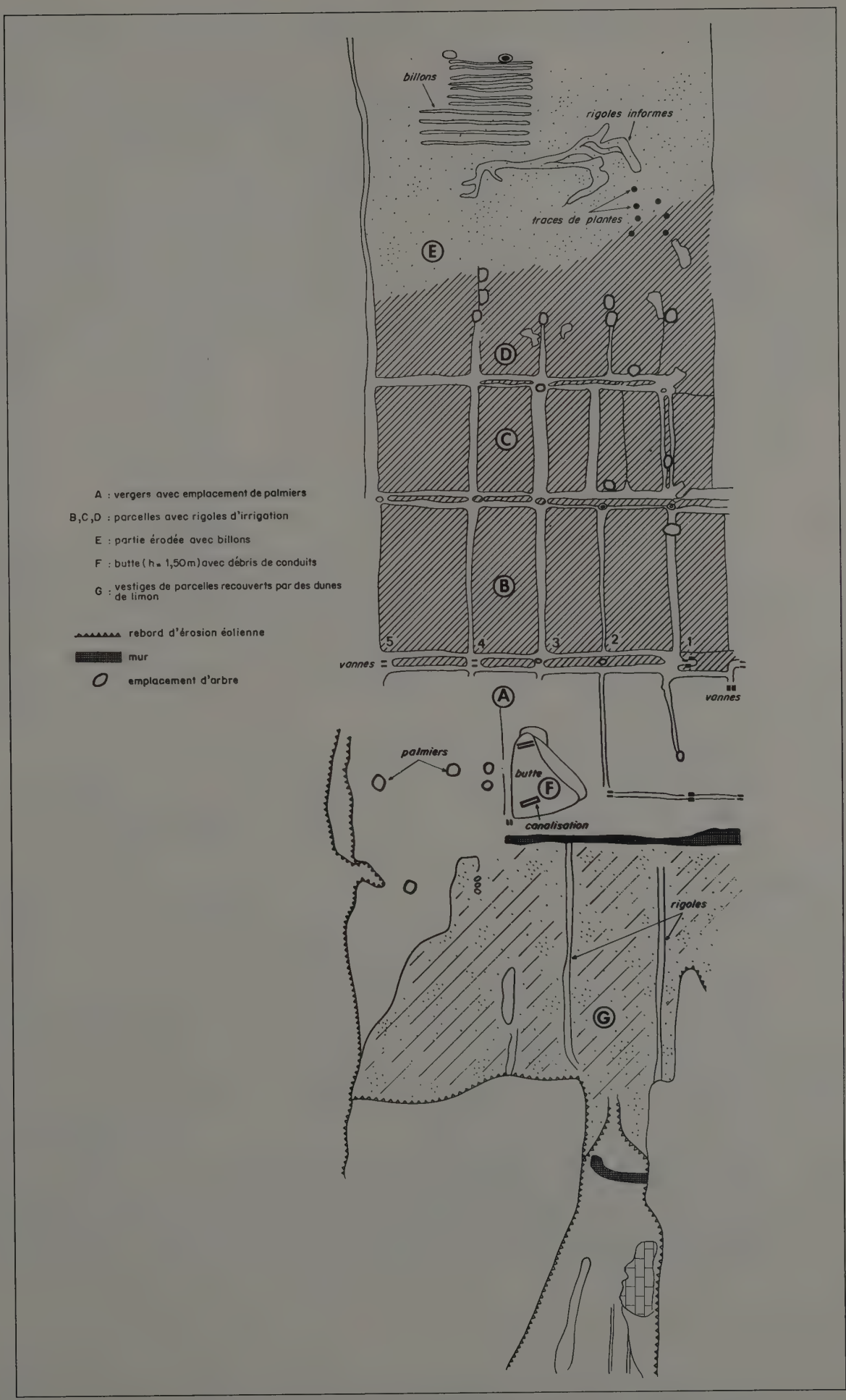
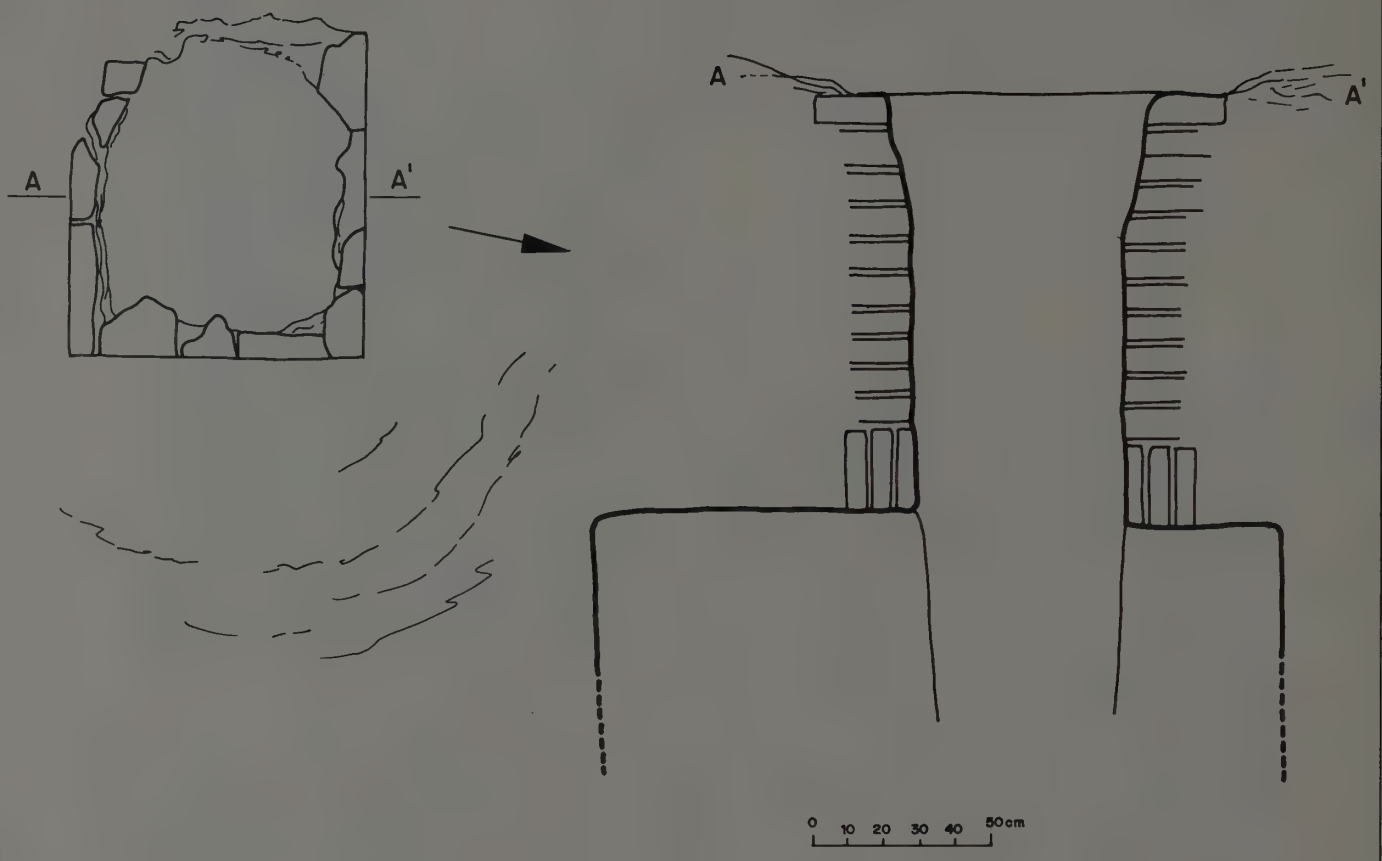


FIG. 41. *Plan des vergers d'oasis de Tell-Douch. (Relevé Ch. Braun).*

A - Puits transformé en cheminée dans qanat (Tell-Douch)



B - Mur

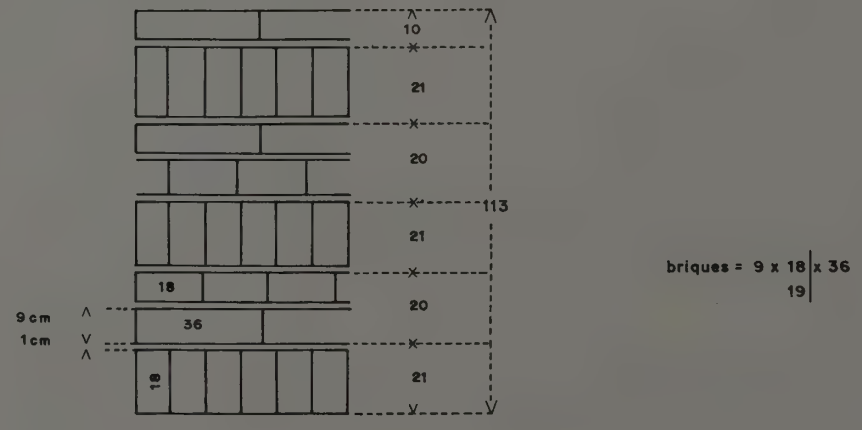


FIG. 42. *Mur d'un enclos d'Aïn Manawir. (Dessin Fr. Traunecker). Puits transformé en cheminée d'accès d'un* qanat.

été possible de remédier à l'insuffisance d'un mécanisme naturel qui avait fait de Kysis une oasis agréable à atteindre, une fois le désert traversé.

En fait, l'ensemble des installations retrouvées produit un effet de masse (fig. 43) dont il ne faudrait pas déduire le volume d'eau disponible. Leur nombre pose plutôt la question de la durée de leur usage. Il apparaît certain que les équipements retrouvés ne sont pas contemporains. Les puits restent le type en service le plus permanent. Les *qanawat* ont été d'un usage plus temporaire. On peut sans doute déterminer des périodes où le nombre des équipements en usage a été plus ou moins élevé. On est ainsi progressivement conduit à définir une chronologie pendant laquelle les évolutions morphologiques ont interféré avec les périodes d'occupation des sites.

3.20 LES PÉRIODES D'UTILISATION DU SYSTÈME HYDRAULIQUE

Les équipements sont souvent disparates d'un site à l'autre. Le système hydraulique d'un site se montre en outre polygénique et, pour le même site, la présence d'installations hétéroclites destinées à parer l'insuffisance de la ressource, tels le puits-*qanat* ou le *qanat*-puits, le rappelle. L'absence de ces équipements hétérodoxes dans les autres sites démontre la longévité inégale de la réserve en eau. Et l'éventualité d'un abandon peut donc se situer à des moments différents.

Aussi la comparaison des équipements entre eux permet-elle de différencier plusieurs états et de situer dans le temps le moment de leur installation respective. D'abord, les puits et *qanawat* hydrauliques comme les parcellaires ne se présentent pas avec le même état de fraîcheur. L'état de certains d'entre eux suggère en effet que leur utilisation s'est produite au cours de périodes plus ou moins longues.

Le degré de destruction des équipements par l'érosion définit *a contrario* leur état de plus ou moins grande conservation. En particulier, les effets inégalement graves de la déflation éolienne subie par les aménagements permettent d'évaluer leur degré de décrépitude (fig. 19). Ce gradient de destruction est fonction de l'emplacement au sol des lits d'écoulement du vent (photos 189, 190). Mais sans doute faut-il tempérer l'estimation qu'il permet. Car, selon sa mobilité, la nappe de sable qui est charriée joue un rôle protecteur pendant plus ou moins longtemps. Aussi les transformations apportées aux équipements, qui conduisent à déterminer leur degré de finition, prouvent-elles sans doute mieux que les précédents un usage plus durable du dispositif et son adaptation aux changements des conditions du milieu (fig. 42 b).

À Dikura, la disparition des tertres sensibles à la désagrégation suggère l'ancienneté plus grande de certaines galeries. En même temps, le recouvrement des regards rendu à des stades différents d'obturation démontre cette obstination à poursuivre un usage menacé.

On observe également qu'à Tell-Douch les parcellaires situés sur le palier et en bordure de la dépression sont dans un état de conservation moindre que certains périmètres de

plaine irrigués par des puits. La destruction des parcelles par l'érosion du vent ou leur stérilisation par un ensablement de surface légèrement induré sont les indices d'une déshérence commencée au cours même de l'occupation des sites. Ces caractéristiques suggèrent en effet une exposition à la déflation plus longue, en raison de la précocité de leur abandon. Elles peuvent indiquer un glissement graduel des parcellaires vers la plaine, au fur et à mesure de l'abaissement de la nappe phréatique. Elles instaurent un gradient de décrépitude orienté de la butte vers la plaine en rapport avec le déplacement des aménagements, si on les replace dans la durée totale de la période d'occupation (fig. 43 et 19). Les parcellaires de puits en plaine doivent être plus longtemps utilisés que les parcellaires de *qanat* qui leur sont voisins. Le tarissement des réserves de la butte a précédé celui des nappes de puits, en plaine. On a ainsi dans la même zone cultivée des parcellaires qui ont pu être abandonnés plus tôt que d'autres.

La même hypothèse vaut sans doute pour l'aménagement de la plaine, au sud du *tell* d'Aïn Ziyada. Des constructions ruinées ou réduites à un pan de mur au sommet d'une butte ramenée à l'état d'une crête étroite, des hydragogues perchés au flanc d'un tertre, les parcellaires effacés, parce que remplacés par des cuvettes de déflation qu'atténuent à peine des nappes de sable récentes, font dire que ces vestiges sont plus anciens que d'autres. L'ampleur de l'érosion éolienne qui s'est exercée aux dépens du volume des buttes ou du niveau de la plaine, est compatible avec l'ablation éolienne, dont la vitesse est estimée à un mètre par millénaire pour la dépression de Kharga.

Des différences de style dans la composition architectonique des installations hydrauliques peuvent faire supposer que les *qanawat* n'ont pas tous été creusés au même moment. De même, la coexistence de deux types de *qanat* pourrait avoir une signification chronologique. À la vue de certains vestiges pris dans le matériel des dunes profilées, on peut en effet se demander s'il n'y a pas eu des installations antérieures aux aménagements de la phase principale d'occupation dont les vestiges seraient eux-mêmes échelonnés dans le temps. À Kysis, la fossilisation d'un aqueduc de *qanat* par une dune, elle-même support d'un dépotoir de céramiques (photo 191), prouve que certains équipements n'étaient plus en fonction au cours de l'occupation de ce site. Le tarissement des sources dans un site peut être ainsi contemporain de leur pleine activité dans d'autres.

À son extrémité ouest et à la hauteur de son palier intermédiaire, Tell-Douch fournit, pour l'instant, le plus d'éléments à l'origine de cette impression. On peut y relever une distribution d'aménagements qui de la pente du *tell* vers la plaine fait succéder aux puits-réservoirs des exutoires sous l'aspect de saignées et d'aqueducs dont les supports sont perchés au-dessus d'un épandage de sable déjà compacté. La cohésion du système paraît avoir été détruite par une évolution géomorphologique du piémont, historiquement rapide. Dans la nappe de sable consolidée, on retrouve en effet des murs de pisé qui s'en dégagent en aval (photo 192). Des constructions et leurs enclos ont été envahis par des amas de sable (photo 155), façonnés ensuite en buttes profilées. Les murs construits en pisé ou en grosses mottes sont fossilisés par le sédiment dont ailleurs le matériel recouvre également un dépôt de tessons posés sur une surface (photo 58). On repère d'autres témoins très dégradés. Installés sur des plates-formes en limon gris aplanies, des parcellaires perchés se repèrent à leurs planches de culture dont la surface surbaissée et profilée par la déflation

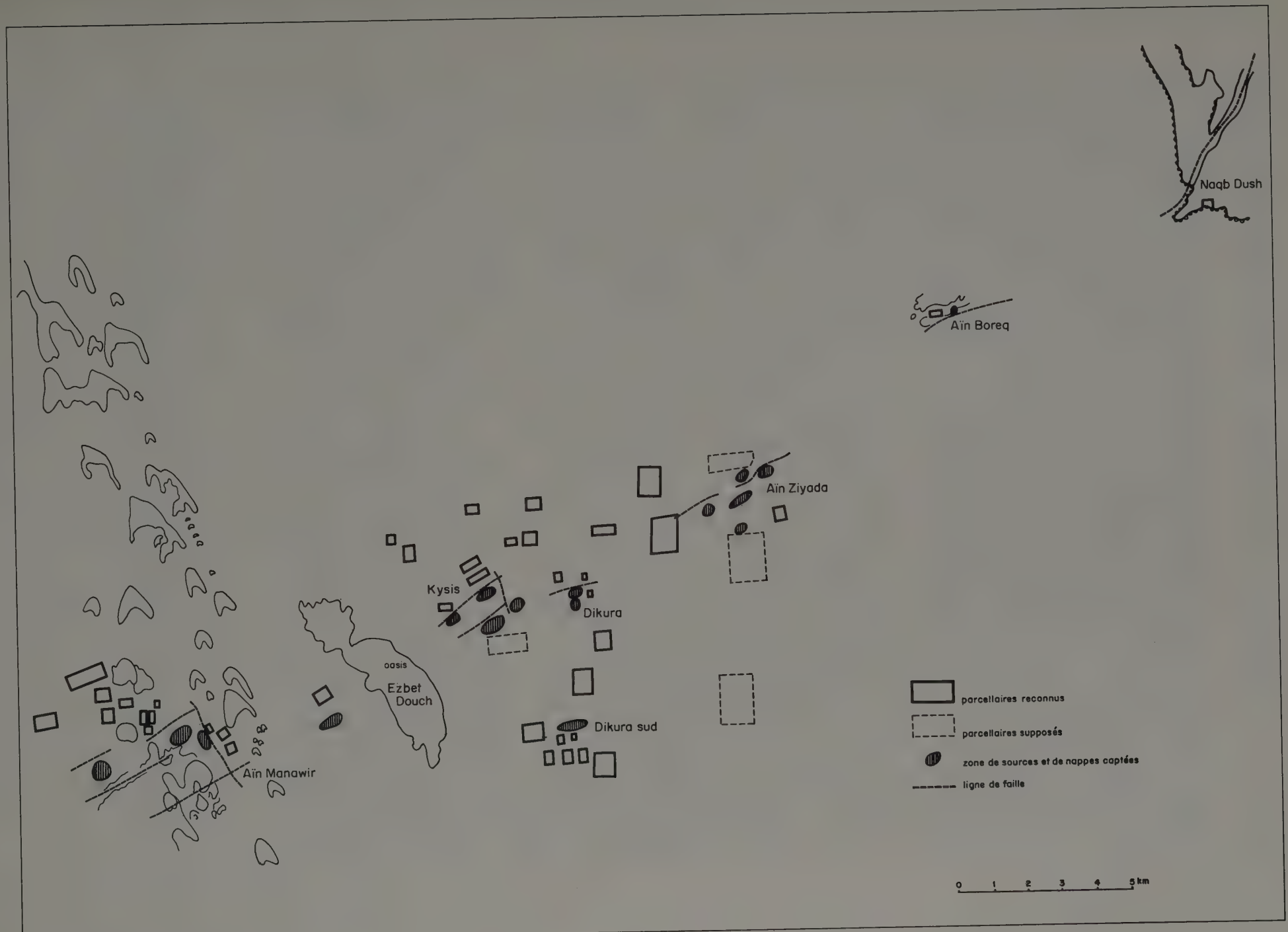


FIG. 43. *Répartition des parcellaires antiques.*

éolienne a pris la forme d'un intrados convexe (photo 51). Ou bien encore s'observent de petits casiers d'irrigation cernés de conduits ou de leurs traces qui subsistent en position de relief inversé. Également, sur le palier intermédiaire de Tell-Douch, dans sa portion comprise entre les deux temples, se trouvent des murs de briques ensevelis sous les déblais des *qanat*-fosses qui l'entaillent, ainsi que des chenaux d'irrigation et des vergers d'oasis dont il est difficile de déterminer les points d'eau. Ces parcellaires, perchés au-dessus de la plaine, ne sont irrigués par aucun des systèmes d'irrigation connus. À moins de supposer les sources ensevelies sous les amas de sable clair accumulés à la base du *tell*. En effet, dans le couloir de déflation situé dans l'axe du temple en pierres, des canalisations dont les auges sont encore en place ont eu leur tracé recoupé par une galerie drainante (photo 193). En outre, pour installer les plus anciennes canalisations, des angles de murs d'enclos ont été détruits (photo 194 et fig. 29).

Ces vestiges déconnectés des installations destinées aux parcellaires de la dépression paraissent donc antérieurs. Pourraient-ils relever d'une toute première période d'occupation dont les aménagements auraient été profondément remaniés par le développement de la bourgade à laquelle seraient plutôt attachés les parcellaires ultérieurs et tardifs de plaine ?

De même, la présence d'un dépotoir de céramique [260] sur le temple d'Aïn Manawir fait dire qu'une partie du site se trouvait elle aussi déjà délaissée, avant même son abandon définitif. Les *qanawat* de type iranien tranchant par leur style sur les *qanawat* kysites seraient-ils hérités d'une tentative d'occupation remontant à la période perse de l'histoire de l'Égypte ? Aucune céramique rattachée à cette époque n'ayant été retrouvée, rien ne permet pour l'instant d'assurer la réalité de cette phase d'occupation.

En revanche, la céramique datée de l'Ancien Empire confirme, sans doute possible, l'arrivée ancienne de l'homme dans cette contrée. Plusieurs sites montrent que cette présence sans doute épisodique ne fut pas cependant éphémère. La preuve en est donnée par un assemblage caractéristique qui groupe silex taillés, œufs d'autruche, céramiques dont certaines propres à l'Ancien Empire, et restes de foyers et de cuisine (rongeurs), (fig. 44).

À Tell-Douch dans l'épaisseur d'une crête de ravine, a été retrouvé cet assemblage typique à quoi s'ajoutent la fossilisation d'un épais niveau de cendres et à proximité l'enfouissement de pots conservés entiers (photos 195, 196, 197). Ces témoignages montrent que le site a été utilisé durablement. En effet, dans un rayon d'une centaine de mètres autour de ce foyer, d'autres niveaux de combustion, associés à de la céramique entière fossilisée et à des tessons de cette même période ont été également répertoriés. Au total, à cette extrémité ouest du *tell*, on peut dénombrer au moins l'emplacement de six campements. Enfin, à l'extrémité orientale du *tell*, à proximité du puits qui s'y trouve, un campement de cette époque avec tessons datés a été aussi reconnu.

[260] Ce dépotoir d'un atelier serait composé de céramiques qui pourraient être datées du IVe siècle (Pascale Ballet, in *Rapport de mission de restauration et d'étude sur le site de Douch, octobre-novembre 1992*, p. 14).

À Dikura, dans le secteur sud-ouest du seuil, un puits a servi de point d'eau comme l'atteste la présence de tessons également datés. Des niveaux de combustion sans détritus d'origine anthropique peuvent se retrouver ici ou là dans l'épaisseur des yardangs. De même, sur l'éperon oriental d'Aïn Manawir, se trouvent des restes qui associent à des silex travaillés des débris d'œufs d'autruche.

Il en est de même pour les puits d'Aïn Boreq. Des tessons et des silex taillés pour un usage agricole (lames de faucille) indiqueraient une ancienneté comparable. Les parcelles de versant qu'on retrouve et les pistes nombreuses de bêtes à sabots sont d'autres indices plaidant pour une exploitation ancienne du puits et de ses environs.

Enfin, à Aïn Ziyada étaient connus des ateliers de taille qui peuvent être contemporains de foyers fossilisés dans les dunes profilées de l'ouest du site. On pourrait les associer aux autres trouvailles.

3.21 CHRONOLOGIE DES PHASES D'AMÉNAGEMENT DES SITES

En considérant ces différentes données, on peut proposer une chronologie qui distingue des phases d'aménagement des sites. Certaines sont proposées à titre d'hypothèse. La datation s'appuie sur la céramique [261]. La chronologie relative, introduite par l'évolution géomorphologique qui l'incorpore, confirme l'existence d'interruptions.

3.21.1 ANCIEN EMPIRE

L'occupation s'est opérée sous la forme de campements provisoires, avec présence de troupeaux et indice de récolte-cueillette de graminées. Les puits artésiens sont utilisés comme points d'eau. Le piémont de la hamada devait être le centre, semble-t-il, de cette occupation encore très sporadique. Tell-Douch était une halte fréquentée. Les autres buttes ont pu jouer le même rôle à un moment ou l'autre. Peut-on associer à cette phase les parcellaires de décrue de terrasse d'oued ou de rive de mare et les terrassettes des cols de flanc du Naqb Douch ?

[261] En fonction de la stratigraphie des sondages, P. Ballet distingue : « un niveau « supérieur » qui comprend de la céramique du Bas Empire avancé ; un niveau « moyen » ; un niveau « inférieur » ou démotique, ainsi appelé car il comprend des *ostraca* démotiques, mais également des *ostraca* grecs ». cf P. Ballet, in N. Grimal, « Travaux de l'IFAO en 1992-1993 », *BIFAO* 93, 1994, p. 464.

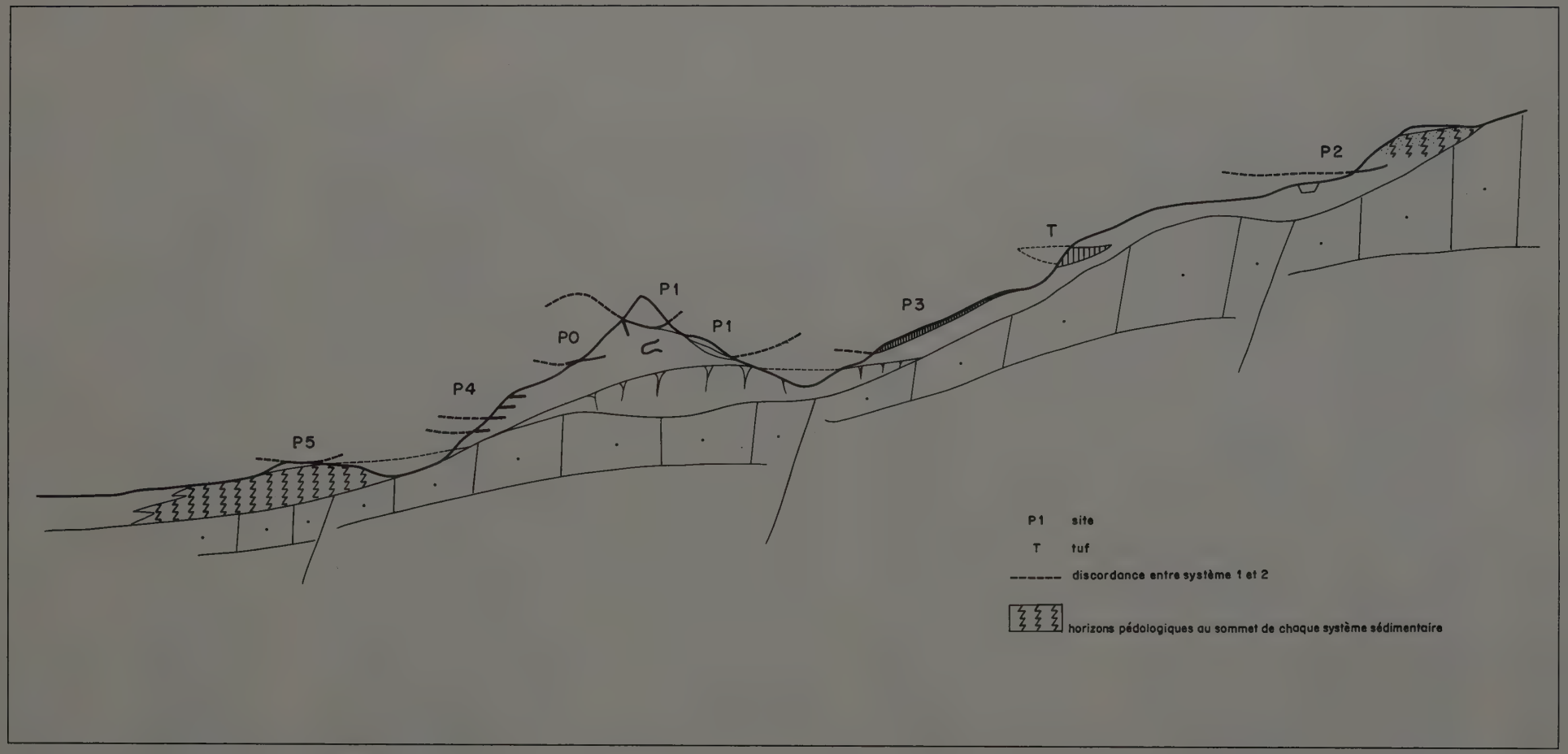


FIG. 44. *Les sites de l'Ancien Empire à Tell-Douch.*

(coupe synthétique, observations B. Bousquet).
(Détermination et description des artefacts Pascale Ballet, Rapport de fouille, 1989).

Chaque foyer de plein vent doit être situé dans le creux d'un modelé de dépôt éolien particulièrement mobile. Le dispositif étagé ne peut être interprété en terme chronologique. La céramique prise dans le matériau montre en effet que le site le plus bas n'est pas le plus ancien, preuve de l'origine éolienne du dépôt. La chronologie proposée par P. Ballet établit que les différents foyers s'étendent entre la IVe Dynastie (P1 = 2590-2470), la VIe Dynastie (P2 = 2320-2160) et la Première Période intermédiaire (P4 = 2135-2040).
En revanche, les traits de pédogenèse indiquent des phases d'humidité au sommet de chacun des systèmes sédimentaires reconnus.

P0 = niveau rubéfié de calcination sans artefacts anthropiques.
P1 = à un niveau rubéfié et à des restes de cuisine (os de rongeurs) se trouvent associés « *des rognons de silex en partie débités, des éclats de silex brun, retouchés, une meule de grès fin, un fragment de diorite, un de quartzite, un objet travaillé en calcite. La céramique rappelle la technique et les formes de l'Ancien Empire, à part un bol noirâtre* » (Pascale Ballet).
P2 = à un niveau rubéfié s'associe une « *coupe profonde à épaule carénée* » à rattacher à « *la série des types Maidum-Bowls, phase ancienne* » (Pascale Ballet).
P3 = niveau de scories sur pente. Feu de broussailles avec peut-être restes de cuisson.
P4 = à plusieurs surfaces brûlées séparées par de faibles épaisseurs de sédiments sont associés « *une passoire* » et des « *tessons à terre de bassine* » (Pascale Ballet).
P5 = accumulation de tessons remaniés, à la base de la pente.

3.21.2 ÉPOQUE PERSE

L'occupation perse est connue à Hibis. Pour la région de Douch, il n'y a ni attestation ni datation par une céramique, ni nécropole de cette époque connue. Les hypogées à l'est d'Aïn Ziyada, contenus dans une butte isolée recouverte de blocs, au sein d'une dépression hydroéolienne constituent-ils la nécropole des maisons anciennes ruinées de la plaine, au sud du *tell* ?

L'aménagement, en relation avec des établissements très hypothétiques pour l'instant, pourrait se définir à partir de quelques *qanawat* à tertres, de type iranien. Les principaux sites de cette première occupation pourraient être alors Aïn Manawir (parcellaires sous les dunes), Tell-Douch (secteur ouest et piémont nord), Aïn Ziyada (secteur sud, en plaine) et Dikura (?) Les aménagements auraient été très détruits par la déflation éolienne, gage de leur ancienneté.

La fin de ce premier épisode de sédentarisation aurait été marquée par l'abandon des sites pendant un siècle. Mais en l'absence de tout matériel relevant incontestablement de cette période, on pourrait considérer ces vestiges très détruits comme appartenant à la toute première phase d'occupation de l'époque suivante.

Celle-ci aurait aménagé le piémont de Tell-Douch avant d'occuper la plaine et de s'installer sur les pentes et le sommet de la colline.

3.21.3 ÉPOQUE GRÉCO-ROMAINE

La datation est certaine entre le IIIe siècle avant et le Ve siècle après J.-C. Elle définit la plus longue période d'occupation.

Le déploiement du système hydraulique correspond à cette période. Il se définit par le développement d'équipements divers, l'utilisation à la fois des puits et des *qanawat* regroupés en réseaux, l'installation des terroirs de plaine et des vergers d'oasis.

On pourrait cependant distinguer, au cours de cette période principale d'occupation, trois phases, en raison de l'abandon incontestable de certains de ces aménagements.

La première est définie par des vestiges dont les plus remarquables se situent sur le palier intermédiaire de Tell-Douch où ont été trouvés les *ostraca* démotiques les plus anciens [262]. L'agriculture irriguée se développe à partir de puits ou de *qanawat* de type iranien (?). À Tell-Douch, les bas de pente nord en portent, semble-t-il, la preuve.

La deuxième phase de conquête déployant un véritable front pionnier de colonisation autour des collines ajoute aux puits les *qanawat* de type local et de type iranien. Les terroirs se développent en plaine sur de grandes superficies. Ils pouvaient bénéficier de l'eau des nappes phréatiques ainsi peut-être que d'apports par condensation nocturne à la fin de l'hiver.

La troisième succède à un épisode de rétraction des terroirs qui pourrait se situer entre le IIIe et le IVe siècle, à la suite d'une péjoration climatique. Des réaménagements de *qanawat* le signaleraient. Les parcellaires de puits l'emporteraient sur ceux alimentés par

[262] Selon un renseignement oral fourni par M. Chauveau, IFAO.

les *qanawat* en plaine. Le système hydraulique se caractériserait par l'apparition d'équipements hybrides. La terminologie variée en usage à cette époque l'indiquerait [263]. Des terroirs abandonnés pourraient en côtoyer d'autres exploités à l'intérieur d'un finage où les contraintes du désert se feraient de plus en plus pressantes.

Enfin l'abandon des sites aurait eu lieu au cours du Ve siècle. Les raisons pourraient en être diverses. Mais il est possible que l'entretien du système ait été trop difficile pour que puisse se maintenir à Kysis un habitat permanent. L'irruption du sable à l'origine des *barkhanes* actuelles expliquerait la renonciation des oasiens à maintenir leurs finages. Une ultime phase d'occupation de la bourgade sous une forme plus rurale que citadine précéderait l'abandon final et serait le gage de la rétraction des terroirs.

3.22 L'ÉCO-GÉOGRAPHIE DES SITES

Ces données d'ordre chronologique introduites par la mise en valeur et par les différents équipements hydrauliques orientent vers une compréhension plus globale de l'environnement. Pour rendre compte de l'occupation des sites, les facteurs d'ordre technique s'associent donc aux perspectives historiques et aux contraintes écologiques. Le paysage qui est l'expression d'un géosystème compris à partir de sa dimension éco-géographique, se réalise de surcroît à travers des territoires aux statuts différents. Mais à leurs échelles spatiales s'ajoute un temps diversifié par ses propres emboîtements d'échelle.

Le développement du paysage humanisé comme sa déshérence sont en effet liés à la maîtrise avec laquelle la technique locale s'accapare de l'écoulement hydrogéologique. Aussi en s'intéressant aux moyens mis en œuvre par les oasiens pour entretenir cette activité peut-on considérer les *qanawat* comme l'instrument d'une innovation technique à l'origine de l'extension des parcellaires. Avec leur utilisation s'est développé un système complexe de relations entre l'eau, le sol et le couvert végétal cultivé ou spontané. Par ces équipements se comprennent la répartition des plantes à l'intérieur des parcellaires ainsi que leur usage par les fellahs [264]. L'agriculture subsistera à Kysis tant que ce drainage dérivé pourra être maintenu au bénéfice des habitants de l'oasis et tant que les oasiens seront capables de l'adapter aux modifications des facteurs éco-géographiques.

À l'échelle de la parcelle, du terroir et du territoire, l'éco-géographie vise à expliquer les conditions qui ont permis le développement de ce paysage humanisé. À travers les données écologiques et économiques, on observe la transformation des ressources naturelles en richesses d'œkoumène et la mise en place d'une relation qui, en liant le milieu aux ressources naturelles et ses dangers aux intérêts des oasiens, conduisirent au développement d'une campagne et à son dépérissement pour ne pas dire à son anéantissement.

[263] M. Reddé, « Irrigation et agriculture dans les oasis d'Égypte : l'exemple de Douch », *Les problèmes institutionnels de l'eau en Égypte ancienne et dans l'Antiquité méditerranéenne,* Colloque de Vogüé 1992, Le Caire, IFAO, 1995.

[264] H.N. Barakat, N. Baum, *op. cit.*, 1990.

Ainsi les conditions de leur maintien sont-elles soumises aux dangers du milieu et aux risques attachés à l'irrigation. L'installation d'un hydrofoncier, sa durée et son abandon dépendent autant de la société qui s'efforce de valoriser l'eau, que des changements d'échelle explicites liés aux phénomènes éco-géographiques.

Le bourg de Kysis doit être considéré comme une agglomération où l'agriculture tenait une place exclusive. Autour du *tell*, daté pour l'essentiel de l'époque gréco-romaine, le finage retrouvé se présente sous l'aspect de terroirs développés au sein d'un désert, peut-être moins sec que l'actuel. L'agriculture hydraulique en fut l'instrument et le garant. Elle n'était pas une activité de circonstance et précaire. Elle relevait d'un savoir-faire et de connaissances élaborées en fonction de pratiques conçues par de véritables agriculteurs.

En conséquence, l'abandon du site doit être considéré en fonction des contraintes et difficultés que les habitants ont rencontrées. Les menaces et les dangers du milieu plus constants pour les oasiens que les bénéfices tirés de leur terre ne sont pas que d'ordre naturel, mais aussi d'origine anthropique et territoriale. Si l'abandon des sites peut être lié à une baisse des rendements par dégradation du milieu, leur désertion par l'homme doit être comprise, entre autres causes, en fonction des modifications de l'échelle spatiale, une contrainte sans cesse rappelée pendant l'Antiquité [265]. Dès cette époque, le souci de localiser et de définir ces contrées établit le niveau de leur intégration ou le gradient de leur éloignement géographique, au sein de leur territoire régional et de leur aire géopolitique. Considéré à différentes époques de leur histoire, le maintien des oasis se comprend à travers une géo-histoire attentive aux changements de statut et de place de ces bourgades rurales, à l'intérieur des empires qui les englobèrent.

3.23 PLANTES ET PARCELLES

Le paysage végétal est une association de plantes de plusieurs empires floristiques, laquelle s'explique par le recoupement de leurs limites au cours du temps ; à quoi s'ajoutent les interventions humaines d'ordre économique. En effet, le couvert végétal naturel relève d'un fonds tropical et irano-sindien hérité [266]. S'y ajoutent des plantes cultivées d'origine éthiopienne, soudanaise ou méditerranéenne, et leurs commensales rudérales. Le sens de l'évolution floristique est celui d'une réduction du couvert végétal.

Les restes végétaux recueillis dans les tombes révèlent des caractéristiques d'ordre plus cultural et confirment la présence d'un finage et l'implantation de parcellaires. Ils entrent dans une économie où les plantes spontanées et cultivées étaient exploitées pour les ressources qu'elles offraient, soit comme plantes d'alimentation pour les hommes et leurs

[265] Cf. la comparaison avec la mer qui fait de l'oasis une île et un bon port gratifié par les dieux.

[266] A.H. Montasir, « Habitat Factors and Plant Distribution in Egypt », *Proceedings of the Symposium on Scientific Problems of Land Use in Arid Regions* IV, 1954, p. 36-61. A.M. Migahid, « Water economy of desert Plants », *ibid.*, p. 3-35.

bêtes, soit comme matériaux ou matières, telles les fibres de palmiers [267], pour assurer le confort d'une vie quotidienne difficile, soit comme plantes d'utilité, pour améliorer le fonctionnement et la fertilité du milieu mis en valeur.

Les listes présentées déclinent une multitude d'espèces aux produits alimentaires complémentaires, les grains farineux des céréales, les graines ou fruits huileux des oléagineux (olive) et celles et ceux des légumineuses qui fertilisent les sols et fournissent des produits riches (pois fourrager) pour l'alimentation des animaux. Cette association fréquente dans un terroir aride est particulièrement intéressante pour une agriculture d'oasis. Elle lui assure des rendements améliorés. De même, la présence de féculents, le haricot, à faible qualité nutritive explique celle des condiments qui en permettant l'élaboration de sauces ou d'assaisonnement fournissent aux plats, tels ceux à base de cresson alénois, commensal du lin, leur saveur. L'absence de plantes à tubercules souligne en revanche son caractère d'agriculture de zone sèche. On peut y joindre les modes différents de reproduction, celui lié aux graines de semence par fécondation des fleurs, qui caractérise céréales et concombre, par rhizomes, par stolons ou par bouturage (romarin), une pratique qui est une caractéristique aussi très peu africaine de cette agriculture.

Les relevés des parcellaires ont montré qu'en limite de champ s'alignent des arbustes, grenadiers ou épineux, des arbres fruitiers, dattiers et oliviers, disséminés sans que les plantes basses aient à manquer de lumière ; ou des arbres d'ombrage ou à fonction écologique et culturelle, sycomores, bélanites, acacias, sébestes, accompagnés d'arbustes contre le vent, tamarix et myrtes, et, dans les enclos, en *coltura promiscua* sans doute, la vigne. Outre la protection contre le soleil, les débris végétaux fournis par ces arbres enrichissent le sol et lui conservent son humidité. Ainsi peut-on concevoir une association culturale, celle du millet et de l'acacia par exemple, soit plus généralement celle des céréales et de l'arbre, ménageant une disposition en étages voulue ou laissée au hasard des semis, mais spécifique de la culture d'oasis (fig. 45).

À l'aide de ces caractéristiques phyto-géographiques, on restitue ainsi l'aspect de divers types de champs. Les uns sont consacrés à la monoculture des céréales, sorgho, millet, et surtout orge et blé, ou à celle de plantes textiles, lin, selon un assemblage de parcelles attenantes, semblable à celui que représente la fresque de Deir al-Medina. Les palmiers apportent un ombrage léger au coton. D'autres parcelles présentent un mélange de plantes, qui définit une polyculture de champs modelés en billons, tels ceux d'un potager, où sont associées en étagement plusieurs espèces. Sous les plants érigés du sorgho aux quenouilles granuleuses peuvent pousser des plantes à port différent, soit étalées en touffes, soit rampantes (lentilles), soit grimpantes et mêlées à des légumes à bulbes (oignons et aulx). L'évoquent, selon une des associations éventuelles pratiquées en milieu sec, les restes retrouvés du sorgho et du concombre, tous deux peu exigeants en eau (fig. 45).

Ces champs à plantes secondaires couvrantes révèlent un savoir-faire pragmatique. On sait en effet que cette polyculture dispense des sarclages, protège le sol de la chaleur et réduit l'évapotranspiration. En même temps, elle assure une récolte supplémentaire et

[267] H.N. Barakat, N. Baum, *op. cit.*, 1990, tableaux 5-9. Fr. Dunand *et al.*, *op. cit.*, 1992, pl. 90 et 91.

s'oppose à l'invasion des plantes adventices, qui parsèment les jachères du parcellaire autant que ses chemins (*Phalaris*) et ses canaux d'amenée d'eau. Figées par leur abandon à un moment précis de leur utilisation, les parcelles que les balayages de surface ont mis au jour, présentent, en effet, des états de surface différents. Elles permettent de suivre et de reconstituer les phases et le rythme du travail dans les champs.

Les unes sont modelées en billons (photo 198), prêtes à recevoir des plantes à bulbes ou des semences de légumes ; les autres étendent une surface plane destinée aux céréales inondées ; certaines, une surface chaotique (photo 193), résultat d'un labour à plat qui prépare la terre après la moisson ou après un temps de jachère, qui a facilité l'invasion des herbes de la steppe environnante ; certaines, enfin, sont plantées uniquement d'arbres pérennes. Elles font partie de vergers, tels ceux situés à la limite nord du parcellaire retrouvé à Kysis, pour former écran contre les alizés ; parmi elles, certaines groupent des dattiers ou des oliviers, cultivés dans des enclos (Douch, Aïn Manawir), comme maintenant dans les petites oasis habitées, à Ezbet Douch même, à Baris ou à Maks Gibli et Maks Bahari.

Les restes de graminées et d'herbacées rappellent que la physionomie des parcelles devait se modifier peu en fonction des rythmes climatiques saisonniers, mois des vents de sable, des fortes chaleurs, des nuits fraîches, mais plus en fonction du calendrier lié aux travaux des champs. Ces associations suggèrent pour un même champ de multiples récoltes.

Un parcellaire d'oasis produit toute l'année grâce à l'écoulement permanent des puits et *qanawat*. Les plantes qui composent les offrandes funéraires indiquent mal la saison de l'année au cours de laquelle le décès a eu lieu. Mais la diversité des espèces indique que les champs présentent une physionomie changeante, témoignage d'une pratique culturale diversifiée, pendant le cycle végétatif, peu soumise aux conditions climatiques puisqu'elles sont atténuées, si ce n'est corrigées, par l'irrigation.

La chronique agraire qu'on peut établir, scandée par des récoltes successives met sur la voie d'une pratique qui appliquerait la rotation des cultures à l'échelle de la parcelle et l'assolement à l'échelle du terroir ou, plus probablement, à l'échelle de l'ensemble des parcelles d'un même fellah. Et ce rythme échappe en partie à celui des saisons.

Les qualités de sol arable des formations superficielles ne s'opposent pas à l'exploitation et au travail du sol. La terre est retournée sur une faible profondeur. Une parcelle d'Aïn Manawir a conservé la plus grande épaisseur de sa terre arable. L'horizon cultural y est épais d'une trentaine de centimètres. Il est parcouru par un réseau dense de racines fasciculées, dont on observe le traçage complexe sur une dizaine de centimètres (photo 149). La texture sablo-limoneuse de la terre rendait aussi son travail relativement facile ou du moins possible pour les instruments aratoires de l'époque, essentiellement l'herminette et la houe, et pour les outils de nettoyage à griffes (photo 184), dont on retrouve l'inscription des traces à la surface de certaines parcelles, à Douch.

Les céréales semées, leurs moissons, faites avec des faucilles à lames de silex, telles celles retrouvées à Aïn Boreq, s'exécutaient au bout de quatre mois. Ce court délai peut expliquer la possibilité des trois récoltes dans l'année, signalées par Olympiodore [268]. Les

[268] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

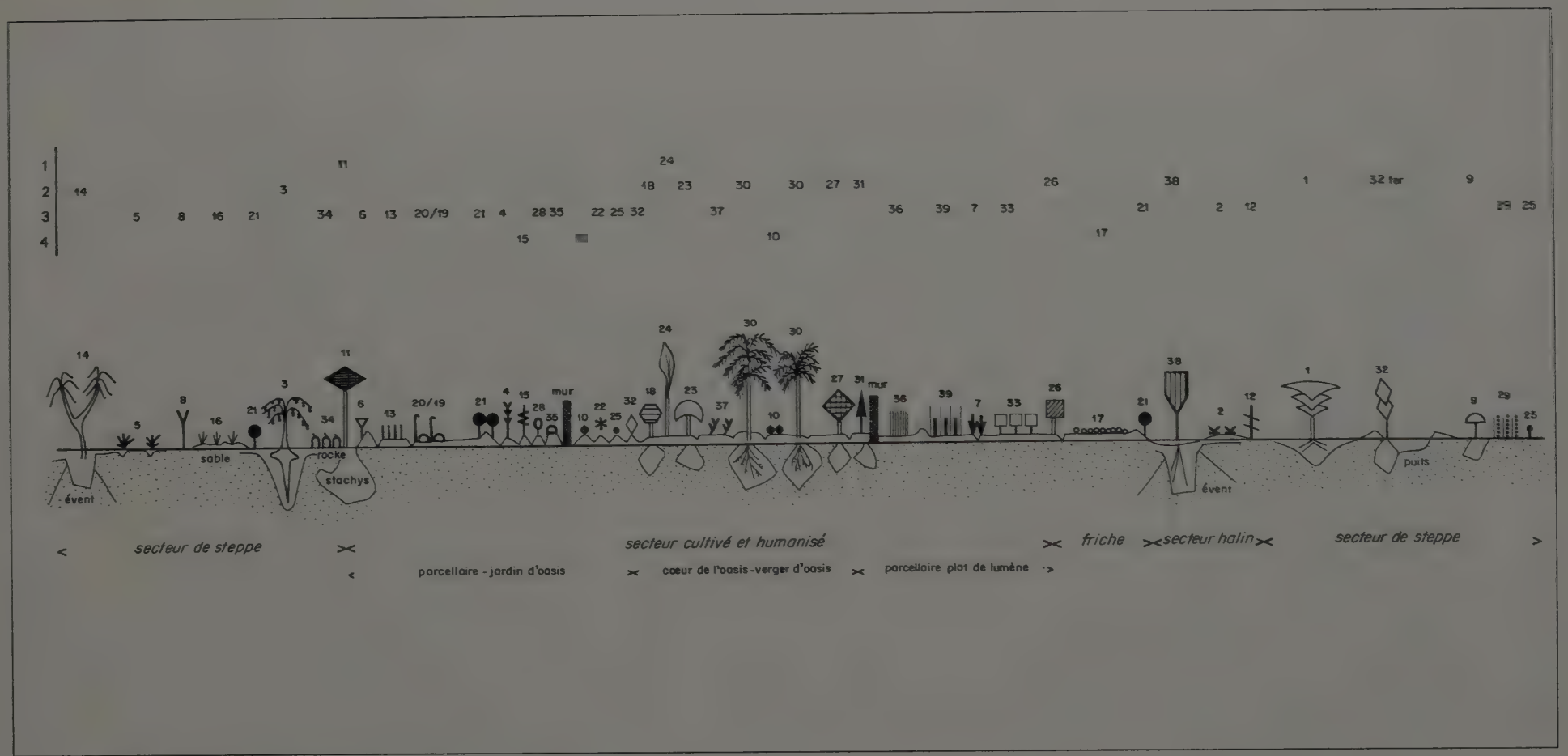


FIG. 45. *Le paysage d'une oasis et la disposition des plantes.*

(Source : les plantes ont été disposées selon une coupe qui veut présenter les paysages des oasis. Les plantes reportées sont celles connues par les bouquets funéraires et les textes des ostraca, (cf. Détermination N. BAUM et H.N. BARAKAT, *op. cit.*, 1992 ; Guy. WAGNER, *op. cit.*, 1987). Elles ont été réparties en fonction de l'étagement propre au paysage végétal des oasis et en fonction des parcellaires déterminés par les observations géographiques. Les numéros renvoient à ceux de la coupe. L'ordre est celui du tableau par familles, genres et espèces fourni par N. BAUM, H.N. BARAKAT, *op. cit.*, 1992.

1 : Étage supérieur aux arbres relictuels de la steppe et arbres cultivés (24). H > 10 m.
11 = Ficus sycomorus ; 24 = Mimusops laurifolia.

2 : Étage médian arborescent relictuel, frutescent cultivé H = 1 m-10 m.
3 = Balanites aegyptiaca ; 9 = Cordia ; 15 = Lagenaris siceraria ; 1 = Acacia mellifera ; 32 bis = Sesbanica sesban ; 18 = Lawsonia inermis ; 26 = Myrtus communis ; 27 = Olea europaea ; 30 = Phœnix dactylifera ; 31 = Punica granatum ; 23 = Malus sylvestris ; 32 ter = Salix ; 38 = Tamarix.

3 : Étage bas, plantes cultivées (céréales et légumes) de l'Égypte ancienne ou introduites à l'époque gréco-romaine, plantes ségétales et relictuelles, désertiques à steppiques, rudérales des friches. H < 1 m. 4 = Carthamus tinctorius ; 6 = Centaurea depressa ; 7 = Ceruana pratensis ; 8 = Chrysantheum coronarium ; 19 = Lepidum sativum ; 25 = Moricandis nitens ; 12 = Frankenis pulverulenta ; 2 = Aeluropus lagopoides ; 5 = Cenchrus ; 13 = Hordeum ; 16 = Lagurus ; 29 = Phalaris minor ; 33 = Sorghum ; 36 = Triticum ; 22 = Majorana hortensis ; 32 = Rosmarinus officinalis ; 35 = Thymus bovei ; 34 = Stachys aegyptiaca ; 21 = Lupinus albus ; 20 = Linum usitatissimum ; 37 = Vitis vinifera ; 39 = Coton.
À cet étage il faut ajouter lentille, ail, oignon, pois chiche, haricot sec, sésame cités par G. Wagner (*op. cit*, 1987), plantes connues par les ostraca, mais non retrouvées dans les tombes.

4 : Étage rampant légumes et légumineuses : 10 = Cucumis melo ; 15 = Lagenaris siceraria. 17 = Lathyrus.

chaumes longs étaient recueillis pour un commerce de paille qui servait de fourrage et de litière aux bêtes de travail et de somme [269]. Le champ nettoyé, après que les résidus de paille ont été brûlés pour fertiliser la terre de leurs cendres accumulées sur place, un nouveau labour à plat ou en billons préparait la terre pour la récolte suivante, soit de lin ou de coton, soit de légumes (haricot, lentilles ou pois fourrager), ou de plantes à bulbes (ail). Puis le champ était laissé en repos à l'état de jachère nue (plantes rudérales des bouquets) ou de semi-jachère cultivée (plantes nettoyantes comme le concombre). La culture de plantes saisonnières oblige, en effet, à pratiquer la jachère pour maintenir la fertilité du sol.

Il est ainsi possible de proposer à partir des plantes reconnues un type de rotation fondée sur plusieurs périodes :

- 1re période, des céréales (blé ou orge), plantes dites de tête de rotation ;
- 2e période, du lin ou du coton ;
- 3e période, jachère nue ;
- 4e période, jachère cultivée avec une plante nettoyante ;
- 5e période, à nouveau des céréales (sorgho) ou des légumes.

Une telle rotation [270] suppose un assolement et la nécessité pour le cultivateur de posséder ou d'avoir l'usage de cinq à six parcelles qui se transforment collectivement, selon la rotation hypothétique présentée.

Cette reconstitution vraisemblable de la chronique culturale d'un champ fait donc appel à une rotation des cultures à sa surface (photo 153). Le suggère aussi la présence concomitante, au sein d'une même offrande, des restes de céréales, de légumineuses et de concombre utilisé comme plante nettoyante, si nécessaire pour des espèces qui ont besoin d'un sol propre, comme le lin ou le coton.

Ainsi la campagne voit-elle modifier la physionomie de son paysage agraire, sur une même parcelle, par rotation des cultures selon une succession de périodes comprises comme autant de moments d'utilisation différents ; de même, au cours d'une même période d'utilisation, cette physionomie se modifie-t-elle sur plusieurs parcelles, selon l'assolement suivi. Il en résulte une polychromie comme celle qu'on observe de nos jours fondée sur les champs à nu, les champs cultivés de luzerne et les parcelles en polyculture [271].

À l'échelle de la parcelle, la multiplicité des faciès peut s'expliquer par les nombreuses contraintes que rencontre cette agriculture. La disette impose sa menace. L'état sanitaire des momies le démontre. Il permet de diagnostiquer, hors des déformations corporelles dues à la répétition d'un labeur quotidien, l'effet de carences alimentaires chroniques [272]. Elle peut être

[269] Cf. les représentations peintes de labour et G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[270] Une même diversité s'observe pour le parcellaire de l'oasis de Douch. On trouve des champs à surface aplanie, des champs à billons ; de même l'arrosage se fait par inondation (lame d'eau de 7/8 cm) ou par sillons. Au même moment sont apposés des champs cultivés et des champs laissés en friche avec un couvert de plantes rudérales. La rotation des cultures peut être mise en évidence en comparant deux images SPOT enregistrées à un an et demi d'intervalle. Les champs de luzerne facilement repérés par leur albedo n'y ont plus la même place, indice d'une mobilité à l'échelle du quartier d'oasis.

[271] Cette polychromie se prouve par les images SPOT et les réflectances différentes des parcelles.

[272] Cf. les résultats des études anthropologiques effectuées sur les momies de la nécropole de Kysis par J.-L. Heim et R. Lichtenberg, in Fr. Dunand *et al.*, *op. cit.*, 1992, p. 195-206 et p. 207-223.

atténuée par des denrées de dernier recours, destinées à la survie des hommes et des animaux, les arbres fruitiers, ou les arbres fourragers pour les périodes de soudure, plantes auxquelles peuvent être associées les chenilles commensales des bélanites, qui, riches en protéine, sont consommables séchées, grillées ou directement agrémentées par des sauces.

Cette précarité de l'œkoumène relève des conditions qui affectent tout habitat placé à une limite du milieu. Les contraintes sont avant tout liées à la terre sableuse et pauvre, – actuellement un fellah estime qu'il faut dix ans de travail de la terre pour qu'un nouveau champ atteigne la rentabilité des parcelles les plus anciennement cultivées –, aux pluies rares, si irrégulières et sans doute dévastatrices, à la chaleur élevée qui engendre une forte évapotranspiration, aux vents desséchants, à une terre très sollicitée et insuffisamment fertilisée, aux parasites qui menacent et détruisent les récoltes.

Ces conditions inégalement maîtrisées déterminent la permanence des risques qui pèsent sur le paysage agricole. Elles expliquent le nombre des espèces cultivées, comme les modes diversifiés retenus pour les produire. Le travail des champs s'efforce en effet d'adapter plus ou moins efficacement ses façons de cultiver à chaque espèce végétale, plante de semence, plante peu sociale bouturée, plante repiquée. La présence des champs travaillés en billons à côté des champs à surface plate en rend compte. Ces différents modes culturaux définissent pour l'agriculture pratiquée des buts qui à l'échelle de la contrée visent l'auto-consommation, ou qui inscrits à l'échelle du terroir sont d'ordre plus marchand.

3.24 TERROIRS ET AGRICULTURE

Le système agricole est prouvé par son organisation en terroirs. Sa richesse est fondée sur la profusion des plantes étalées, dressées, rampantes, grimpantes qui envahissent les parcelles (fig. 45). L'arbre et l'eau y sont associés pour constituer son paysage.

3.24.3 LES ARBRES DU TERROIR

Le trait végétal majeur est déterminé par les multiples espèces d'arbres et d'arbustes qui composent le décor des oasis (fig. 45). Ils apparaissent comme les éléments stables d'un paysage agraire dont l'aspect est sans cesse transformé par les plantes saisonnières et les menaces du milieu. Au cours du cycle de culture, les arbres proches des parcelles protègent alors contre les aléas climatiques, le vent dominant, un alizé sec de type harmattan, ou la trop forte chaleur ; ils favorisent l'humidification du sol sous le couvert de leur couronne et l'enrichissent de la très mince litière formée par l'accumulation des feuilles. Certains sont en effet à feuilles caduques et à cycle végétatif estival (*Acacia millifera*).

Chaque espèce a son utilité [273]. Les essences pérennes cultivées pour leurs feuilles, leurs tiges et leurs fruits sont des arbres fourragers, ou, comme les bélanites d'Égypte, les

[273] H.N. Barakat, N. Baum, *op. cit.*, 1991.

sycomores, les palmiers, des arbres à bois d'œuvre pour les manches de houe, les canalisations, les poutres des maisons et l'étayage des puits [274], ou bien des arbres d'ombrage, acacias, tous dispersés dans le parcellaire ou à ses bords, au hasard des abattages et des semis naturels ou voulus. La plupart permettent au bétail de rester sur place, comme de nos jours à Douch, les vaches ou les buffles attachés à un piquet le démontrent pour ce terroir (photo 6). Ainsi l'installation de clôtures d'épineux et la présence d'arbres fourragers et d'herbes cultivées et spontanées le long des canaux d'irrigation confirment-elles pour cette contrée l'association discrète de l'élevage à l'agriculture. La preuve peut en être donnée par l'agencement des maisons retrouvées dans la plaine, à Douch est, puisque des enclos à bestiaux y sont accolés (photo 165). Le constat que des parcellaires soient clos et d'autres non et que les terroirs soient séparés par des étendues délaissées fait supposer l'existence d'un bétail nourri en partie par vaine pâture, en partie sur la steppe environnante. La vente de fourrages [275] est l'indice qu'un accord a été établi entre cultivateurs et éleveurs. La location de bêtes de bât confirme la présence sans doute secondaire mais certaine de ces derniers. De même, retrouver des plantes fourragères dans les bouquets funéraires indique que leur culture était réellement associée à celle des céréales et qu'elle était destinée à constituer des réserves de fourrage.

Pour le couvert arboré, il est difficile de déterminer le nombre de ses individus en l'absence d'analyses palynologiques suffisantes, seul moyen de pouvoir établir leur taux de présence au sein du manteau végétal. Leur figuration dans les bouquets confirme cependant l'existence d'un milieu humide lié à l'irrigation, mais également la présence de réserves d'eau dans le sous-sol, sans doute plus abondantes, plus hautes et plus facilement accessibles pour les racines des arbres qu'actuellement. Parmi les espèces présentes, les légumineuses, dont les acacias entre autres, assuraient la stabilité culturale de cette campagne. Leur rôle est important en raison de la diversité de leur taille, de la protection offerte, ou de leur rôle qui va de l'amélioration de la terre à la création d'ombrage, en passant par la fourniture de bois d'œuvre, sans parler de leur rôle cultuel. Cette profusion subsiste-t-elle à travers les arbres actuels, reliques de cette ancienne abondance, qu'on rencontre au sein des dunes, entre Tell-Douch et Aïn Ziyada ?

Leur densité doit varier en fonction du comportement des villageois. Mais leur rôle agricole et économique au sein des terroirs assurait leur renouvellement. Les arbres au même titre que l'eau déterminent en effet l'économie des oasis. Leur bois a été en particulier utilisé pour alimenter les fours à céramique, les foyers des thermes et ceux des maisons. Toutefois, l'usage domestique pouvait trouver un substitut dans certaines plantes rudérales comme *Imperata cylindrica* (le chiendent), herbe présente dans l'oasis de Douch et vraisemblablement présente aussi à l'époque de Kysis et qui était utilisée, au début de ce siècle, en Libye, pour chauffer les fours des boulangers [276].

L'arbre est ainsi une richesse d'œkoumène qui offre du bois de chauffage et du bois d'œuvre, des fruits pour la consommation familiale ou la vente, des fourrages, des

[274] Dans Olympiodore, cité par G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[275] G. Wagner, *op. cit.* 1987.

[276] Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, *Ricerche e Studi Agrologici sulla Libia* V.1, Bergame, 1912, « La zona di Tripoli », p. 275 sqq.

condiments, des remèdes ainsi que des colorants, des colles et des fibres pour cordes. Mais pouvait-il déterminer comme l'eau des droits de culture ?

3.24.2 L'EAU DU TERROIR

Les terroirs ont été développés grâce à l'abondance des points d'eau, lesquels permettaient aussi des usages autres qu'agricoles, sans que ce soit une règle générale. Les réserves hydrologiques sont d'origines diverses. Leur exploitation est exigée par l'aridité du climat. L'irrigation qui fut toujours nécessaire au développement de l'agriculture le prouve. Cette évidence montre que le désert était déjà l'environnement de ces terroirs.

Les précipitations devaient être rares, mais peut-être moins qu'actuellement, époque de désert hyperaride à moins de 5 mm/an de pluviométrie. La pluviosité a pu être également plus régulière et suivre un rythme saisonnier plus soutenu que de nos jours. Le développement des *qanawat* le rappelle, puisque leur alimentation est conditionnée par des nappes superficielles. Si le désert est le décor de cette agriculture, peut-être devait-il être plus steppique que l'actuel. Le nombre de plantes sagétales en serait l'expression directe.

L'hygrométrie de l'air, actuellement très variable puisque, selon des enregistrements faits en novembre 1992 (fig. 14), elle oscille, entre le jour et la nuit, de moins de 50 % - 20 % à plus de 80 %, pouvait être sans doute aussi élevée, et, peut-être, devait-elle permettre des condensations nocturnes plus fréquentes. L'évaporation était sans doute du même ordre, la tranche d'eau évaporée actuellement s'élève à 24 mm/jour, en été [277].

Rarissime dans les déserts, difficile à maîtriser, l'eau de ruissellement n'intéresse pas prioritairement les terroirs. On peut cependant se demander si, à certaines périodes, entre autres au temps de Kysis, les nappes pluviales ruisselantes n'étaient pas plus fréquentes et si des tentatives de récupération et de retenue par barrage n'ont pas été expérimentées, en particulier sur le piémont nord du *tell* (photo 205).

L'eau des terroirs est donc avant tout celle qui subsiste sous forme de ressources exploitables. En surface, elle était contenue dans les mares, dans les trous d'eau des évents artésiens – peut-être les sites originels de l'agriculture – et dans les cuves de puits aménagés en réservoir ; en profondeur, elle se trouvait retenue par les nappes phréatiques ou par les sols et les plantes, sources non négligeables pour l'agriculture. Ainsi l'eau dans les terroirs oasiens est-elle une eau volontairement exploitée, d'autant mieux que les parcellaires sont situés en plaine, situation qui permet d'annexer les réserves voisines des reliefs, et que les façons de travailler la terre contribuent à la maintenir le plus longtemps possible dans le sol.

L'eau largement présente dans le milieu, plus que ne le laisse à penser le paysage désertique, soutient plusieurs usages. D'abord agraire, en raison de son rôle dans la production végétale des champs de l'oasis ; ensuite, domestique, en raison des petites agglomérations villageoises implantées. Cette utilisation suppose qu'elle était potable et protégée

[277] L'évapotranspiration est estimée à 6 m à Kharga, d'après Ezzat cité par H. Haas, « Radiocarbon Evidence for Holocene Recharge of Groundwater, Western Desert, Egypt », *Radiocarbon* 22/3, 1980, p. 705-717.

pour sa consommation contre toute pollution. Les maisons ne comportent aucun puits individuel, la corvée d'eau au puits restait le moyen de s'en procurer. Aussi, pour l'usage domestique, les réserves d'eau sont-elles constituées à partir de cruches, de gourdes (photo 199) et autres récipients dont les tessons forment la plus grande part dans les dépotoirs. Enfin, elle était le véhicule de maladies [278].

On peut également supposer qu'elle servait à transformer certains produits agricoles, comme dans le rouissage du lin [279], et qu'elle participait à diverses utilisations artisanales, par exemple à la fabrication de la céramique, etc.

Présente dans un milieu qui en est avare par définition, elle oriente l'organisation sociale des oasis. L'activité agricole ainsi que le nombre des habitants et de leurs animaux la transforment en un bien qu'il a fallu économiser. Son drainage par *qanawat* ainsi que son transport dans des conduits fermés peuvent le faire penser. L'eau se montre de la sorte une ressource dont l'appropriation ou l'exploitation est collective. Cette pratique est à l'origine de clauses d'entente pour creuser des puits et des galeries de *qanat* [280], ou des contrats de dépendance entre les utilisateurs pour déterminer les tours d'eau ou la propriété des sources. Elle ne peut pas être en tout cas absente de la mise en valeur des terroirs, comme l'indiquent les modes d'irrigation. Ainsi peut-on distinguer une culture hydraulique propre aux oasis qui ne peut pas être totalement assimilée à celle de la vallée du Nil [281].

3.24.3 LE PAYSAGE DU TERROIR

La permanence des terroirs est déterminée par les caractéristiques du milieu naturel. Il en résulte une similitude de localisation qui impose sa stabilité au paysage agraire. On sait pour les avoir retrouvés que les parcellaires s'étendent habituellement en plaine et qu'ils font partie d'un terroir à terre arable limono-sableuse à sablo-limoneuse. Ils se situent en contrebas des agglomérations de Tell-Douch et d'Aïn Ziyada, à proximité de l'alignement des habitations construites sur le piémont des collines d'Aïn Manawir, ou à proximité de puits associés ou non aux *qanawat*, comme à Dikura, ou bien encore dans des vallées d'oued comme à Aïn Boreq. Ce schéma régulier permet de définir des lieux potentiels (pl. III).

L'oasis s'organise (fig. 45) en secteurs différents, attenants, jointifs ou séparés. Des secteurs humides et ombragés, à proximité des puits, des secteurs découverts pour les plantes de lumière, irrigués par les *qanawat*, souvent à la périphérie des précédents ; des secteurs nécessairement en jachère de repos au moment de la rotation des cultures, dispersés à l'intérieur des deux précédents ; des secteurs en déshérence à cause de la salinité de leurs sols, comme le souligne l'existence des plantes halophiles trouvées dans les bouquets, à la limite des oasis ou

[278] R. Lichtenberg in Fr. Dunand *et al.*, *op. cit*, 1992, signale chez les momies qu'il a examinées des « lésions évocatrices de bilharziose », p. 196.

[279] Rouissage qui peut s'exécuter aussi en exposant le lin à la rosée ou à la chaleur humide.

[280] M. Reddé *op. cit.*, in *Les problèmes institutionnels de l'eau en Égypte ancienne et dans l'Antiquité méditerranéenne*, Le Caire, 1995.

[281] K.W. Butzer, *Early Hydraulic Civilization in Egypt*, Chicago, 1976.

des parcellaires ; enfin, des secteurs steppiques, exploités (épineux), intégrés aux terroirs (acacias, palmiers doum) ou composant leur environnement (sycomores, sébestes, saules).

Les terroirs sont dispersés. Leurs champs n'y sont pas non plus regroupés en un seul tenant, comme ceux des oasis actuelles, mais répartis à l'intérieur de plusieurs parcellaires isolés les uns des autres. Les séparent des étendues de sable, soit dunes, soit épandage alluvial (photo 201). De nos jours, ces finages antiques se situent hors des oasis actuelles, démontrant ainsi que les cultures s'étendaient sur une plus vaste superficie et qu'elles caractérisaient des secteurs de nos jours abandonnés, désormais envahis par le sable, ou recouverts par les *barkhanes*, ces dunes mobiles situées dans le lit d'écoulement des vents dominants (ici les alizés de NNE), pl. I.

En conséquence, la géographie d'une oasis peut être présentée avec suffisamment de précision désormais. L'habitat est disposé au centre quand il est installé sur les reliefs (Kysis, Aïn Ziyada), ou en bordure (Aïn Manawir) des terres cultivées qui n'offrent jamais une pente prononcée, sauf celle faible mais nécessaire à l'écoulement de l'eau d'irrigation, comme dans les parcellaires de la vallée du Nil. Le substrat de leur terre arable diffère. On a affaire soit à des limons éoliens qui, sous leur placage parfois épais de quelques mètres, fossilisent entièrement ou en partie les reliefs (Aïn Boreq, Aïn Ziyada, Dikura, Tell-Douch, Aïn Manawir), soit à des épandages détritiques de plaine ou de dépression (ancien lits d'oued), étalés sur le substrat schisto-argileux de l'embayment, qui, en revanche, risque d'être inondé par les surcroîts d'eau d'irrigation, comme aujourd'hui pour l'oasis de Douch, en hiver, à sa bordure est, et comme, pour Kysis autrefois, pour son parcellaire nord et sud. Le prouvent les vieux encroûtements de sel qui incrustent les parcelles ou fossilisent les anciens conduits (photos 138, 158), et ceux, nouveaux, qui aujourd'hui se forment à la marge de l'oasis.

Près des habitations, les parcellaires sont entourés de murs et subdivisés en casiers. Certaines de leurs fractions sont plus spécifiquement des vergers (photo 176) enclos et séparés des champs, eux-mêmes cultivés, complantés ou en friche. Il apparaît ainsi que les jardins individuels sont proches des parcellaires familiaux ou collectifs. Mais certains autres organisés selon une géométrie stricte (photos 154, 169), tels ceux qui sont situés entre Dikura et Aïn Ziyada, font penser à des terroirs élaborés par une autorité étrangère à la population locale, à qui leur revenu en nature ou monétaire échappe également.

En conséquence on voit s'organiser un terroir subdivisé en parcellaires arborés, proches des habitats, ombragés, groupant jardins, vergers, vignobles et des champs ouverts fumés par le parcours du bétail dont les excréments semblent aussi avoir été recueillis grâce à l'usage du kraal (enclos) [282]. On peut estimer que se tient là le centre du terroir et le cœur de l'oasis, sa zone de sécurité. Plus éloignés, ou à sa périphérie immédiate, sont les parcellaires destinés à des cultures que nous dirions de rapport. Géométriquement organisés, ils sont ouverts, et accueillent parfois des cabanons de travail [283]. Enfin, dispersés à la plus grande périphérie des terroirs, se trouvent des parcellaires de campement à l'habitat

[282] Cf. le fumier retrouvé aux abords des maisons de Kysis, et aujourd'hui, le long de la route de Kharga à Baris, la conduite par les enfants de bovins tenus par une longe, vers des champs éloignés de l'étable.

[283] À Kysis, le parcellaire du puits de plaine au nord-est et sa douzaine d'enclos et de baraques, avec leurs bacs à récoltes et leurs enclos à bestiaux.

sommaire et entourés de clôtures d'épineux, comme l'examen à la binoculaire du sédiment de leurs parcelles l'a confirmé (photo 202).

Ces caractéristiques déduites de la diversité des groupements des parcelles font supposer l'existence d'une autorité de la terre, veillant aux droits de l'eau et aux droits de culture, dont on n'a pas toutefois de mention dans les *ostraca*. Mais qu'on peut sans doute déduire de la mention faite d'un cureur des fossés [284]. Est-ce l'affaiblissement de cette autorité autant que l'ensablement des terroirs qui expliqueraient la fin du système agraire et l'abandon des sites, entre autres Kysis, devenue une bourgade au caractère plus pastoral que rural, à la fin de son occupation ?

3.25 TERRITOIRE ET PAYSAGE

La multiplication des terroirs conduit à la création d'un territoire. Leur implantation effectuée à l'époque ptolémaïque ne semble pas répondre à un changement d'ordre écologique, ni à une modification de l'écosystème ou du milieu, mais peut-être à une augmentation de la population, qui, sur le modèle de la colonisation développée par les Ptolémées au Fayoum, coïnciderait avec la fondation de Kysis et la redécouverte du domaine oasien.

Économiquement, il en est résulté l'élaboration d'un paysage agraire fondé sur l'étalement et la multiplication des récoltes, en fonction de leurs cycles végétatifs. Le rythme du travail est donc soumis à la succession des cultures dans un champ. Pour les terroirs, se sont imposées la nécessaire rotation des cultures et la pratique de l'assolement et de la division en soles.

De la diversité agraire du paysage découle une production diversifiée de plein champ, fondée sur la pluralité des plantes récoltées ou entretenues pour assurer des utilisations complémentaires. Aux plantes pour l'alimentation des hommes et des bêtes, aux caractéristiques différentes (farine, huile), s'associent celles destinées à la production de textiles ou de colorants, et celles à pouvoir médicinal et à vertu thérapeutique. Il faut ajouter les végétaux utiles au fonctionnement du terroir, plantes nettoyantes ou bénéfiques aux autres, comme l'acacia et les plantes d'ombrage.

De l'établissement de vergers irrigués et de la protection de la terre par les arbres se développa une configuration du paysage propre aux oasis. La mise en valeur du terroir utilise une technique, l'irrigation, à l'origine des pratiques agricoles et d'un outillage (photo 203) capable d'élaborer les parcelles et leurs digues de ceinture [285]. Les outils sont fabriqués sur place par les oasiens, à partir du bois d'œuvre des arbres présents. Le bétail

[284] G. Wagner, communication orale.

[285] Actuellement l'instrument dit *garaffa* ou *goraffa*, une planche munie de deux bras et d'une corde tirée par deux ou trois hommes, sert à aplanir la parcelle qui va être irriguée. Le même instrument est utilisé par les Touaregs, sous le nom de *asheck-n-egeri* « le bois tracté », in E. Bernus, « Montagnes touarègues. Entre Maghreb et Soudan : le « fuseau touareg » », *RGA* XXIX/1, 1991, p. 117-128, et phot. p. 126.

est aussi associé à la vie agricole et sert pour le travail et pour le transport des produits et le déplacement des hommes. Enfin l'argent, sans doute en faible quantité, ne supprime pas les paiements en nature.

Ces caractéristiques d'ordre éco-géographique permettent de rappeler que cette agriculture irriguée est élaborée en fonction de l'instabilité récurrente du milieu et qu'elle poursuit plusieurs buts dont la finalité se montre aussi écologique. Elle assure la permanence du paysage agraire en lui associant l'arbre, comme elle recherche la diversité des récoltes, une nécessité face à la précarité des conditions de vie.

Ainsi peut-on caractériser, car présente à l'échelle du territoire, l'association de nature éco-géographique qui lie les cultures saisonnières, les arbres et l'élevage. Elle indiquerait que les oasis se sont organisées en fonction d'une eau plus abondante, en relation avec une humidité plus régulière, ou plus certainement avec des nappes plus apparentes. En effet, de nos jours, dans la région de Kharga (photo 201), des mares sont entretenues par des émergences artésiennes encore actives.

La multiplicité des récoltes traduit le souci de l'oasien de développer une agriculture plus que de subsistance, dans un milieu pourtant défavorable. Elle confirme que l'économie de ces terroirs se fondait sur une série de finalités, opposées deux à deux, qu'on peut juger contradictoires, les parcellaires irrigués et les terrains vagues pour les animaux, les arbres spontanés et les plantes cultivées, les plantes destinées à l'homme et au bétail, les récoltes commercialisées et les productions de subsistance, les réserves de semence nécessaires et les denrées vendues en surplus. Cette diversité des objectifs assure la pérennité des terroirs comme la stabilité de leurs équipements hydrauliques. Enfin, cette agriculture protégea également le sol, sans peut-être que l'oasien en eut la claire détermination. En effet les méthodes de culture contribuèrent sur un demi-millénaire à préserver les conditions qui assurèrent le maintien de la vie rurale locale.

La surface des champs confirme cette multiplicité des objectifs. On peut opposer, en effet, les champs plans et inondés tournés vers une production de rapport et les champs modelés en billons ou ameublis en surface par buttage ou labour à plat, tournés vers la consommation locale (photos 159, 183, 202). Leur nombre n'est pas égal à l'intérieur d'un parcellaire. Le rapport de la surface plane à la surface à billons semble s'établir au détriment des terres de jardin. L'économie de cette agriculture se comprend donc en fonction des buts poursuivis. Elle cherche à satisfaire la consommation domestique et le mélange des espèces correspond à une agriculture d'autosubsistance. Mais elle vise aussi à fournir un marché plus lointain en vendant des céréales et des légumes secs [286], à pourvoir à l'imposition fiscale exigée aux terres conquises [287]. La monoculture des céréales et du lin le sous-entend. Peut-on penser qu'il en résultait un revenu monétaire ?

Les parcelles peuvent se répartir selon une classification qui, du point de vue économique, différencie un champ d'un autre. Il y a en effet des champs à vente limitée, le champ potager [288], le champ complanté d'arbres. Il y a des parcelles dont la production est destinée

[286] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[287] Cf. Tacite, *Vie de Cn. Julius Agricola*, XIX, 4.

[288] Les légumes n'apparaissent jamais dans les comptes des *ostraca*.

à la vallée du Nil ou à Rome. Comme il y a le champ destiné à assurer la survie et un minimum de consommation en cas de disette ou de pénurie [289]. De la sorte, les terroirs se répartissent en fonction de territoires d'échelle différente bien qu'ils appartiennent au finage de l'oasis.

Banalement, on peut conclure que l'agriculture conduite dans les oasis est destinée principalement à l'autosubsistance de ses fellahs, mais qu'il y a aussi vente de ses propres produits agricoles à d'autres. Si le modèle choisi est l'autosubsistance, l'autonomie ne conduit pas à l'isolement [290]. En même temps, l'oasien n'échappe pas à certaines dépenses qui lient les oasis à leur territoire géopolitique, proche ou lointain. Celles-ci visent à compléter la production agricole elle-même pour remédier à l'insuffisance des récoltes, si cruellement ressentie au moment des disettes, comme à maintenir un certain niveau de consommation pour les paysans et les citadins des bourgades. Enfin, à travers les dépenses qu'on peut dire obligées (deuil, mariage, impôt), ou bien sociales, par le biais du commerce (huile et vin) et de l'achat de biens divers (céramiques importées de la vallée du Nil), elles cherchent à combattre les aléas naturels aux effets peut-être plus puissants et dangereux que ceux d'aujourd'hui, et d'autant moins pressentis que le milieu pouvait paraître plus bienveillant qu'aujourd'hui.

La vie agricole et sociale développée dans les oasis prouve cependant la rentabilité de cette activité économique puisqu'elle permet la sédentarité de leurs habitants. La renommée que les oasis dans l'Antiquité tiraient de certaines de leurs productions, confirme l'établissement de relations marchandes avec le reste de l'Égypte [291]. Mais cette renommée est fondée sur une réalité qui repose sur le principe du tout ou rien, ce dernier d'autant plus pressant que des territoires multiples se superposent dans l'espace restreint de l'oasis (fig. 50).

3.26 LE MILIEU ÉCO-GÉOGRAPHIQUE ET SES DANGERS

Cette agriculture est menacée par des dangers de tous ordres qui relèvent autant du milieu naturel que des groupes humains. Les contraintes sont liées au volume de l'eau fourni par les nappes phréatiques profondes et superficielles, à une main d'œuvre affaiblie ou limitée par une morbidité précoce [292], à l'insuffisance monétaire.

À l'échelle des terroirs et des parcelles, ces entraves peuvent devenir des limites qui empêchent de maîtriser les aléas du climat, d'accroître la superficie des terres arables, d'entretenir la qualité des sols, d'assurer la quantité et la qualité des semences, de vaincre les maladies de la biocénose et de la population, de corriger la médiocrité technique de l'outillage, nécessaire par exemple au forage des puits.

[289] Les plantes herbacées et les arbres à fourrage ou fruitiers comme le dattier.

[290] Le trésor du temple, offert par évergétisme peut-être impérial (?) n'est-il pas l'indice de l'ouverture de ces contrées ?

[291] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[292] Fr. Dunand *et al.*, *op. cit.*, 1992, p. 195.

Les dangers du milieu naturel restent permanents pour les biocénoses du désert et des oasis. Le milieu actuel est celui d'un désert sec et hyperaride. La présence des palmiers dattiers l'indique. Leur emplacement retrouvé en bordure des parcelles confirme à l'époque de Kysis l'existence d'un climat au moins aussi sec qu'actuellement. Le vent (*khamsin*) demeure une menace avec l'ensablement et l'assèchement qu'il propage. Dans cet environnement, si l'oasis est par contraste un milieu humide, elle n'en reste pas moins située dans un air très sec, qui favorise l'évapotranspiration, et elle demeure dans un écosystème aride dont on sait la faible ampleur des variations historiques.

Pour l'agriculture, une des premières conséquences de cette localisation est que le milieu biotique y est moins actif et moins complexe qu'en tout autre milieu et que la vie du sol y est également moins intense. Ce facteur limitatif est d'autant plus sévère que le substrat des champs est sablo-limoneux. De plus les plantes sagétales, commensales des plantes cultivées, ne sont que peu utilisées par l'oasien. Elles lui imposent même leurs propres commensaux, animaux, insectes, micro-organismes parfois nuisibles, ainsi que les arbres dans lesquels logent parfois des hôtes indésirables, insectes, oiseaux, serpents et plantes parasites.

À cet environnement naturel rude, au couvert végétal très ouvert, il faut adjoindre un peuplement humain, inégalement dense et isolé, mais sédentaire et rural [293]. À ces données écobiologiques, on peut associer d'autres de nature plus géo-économique. Les bouquets des tombes, reflet du milieu oasien et moindrement du désert, sont en effet caractéristiques de la période romaine. Leur composition relève non seulement d'une mode, mais renvoie également à un monde [294], défini comme un ensemble de contrées associées au cours d'une période précise. Autrement dit, si les contraintes de type mésologique expliquent la présence des végétaux reconnus, les relations territoriales rendent également compte du paysage agricole et de la finalité des oasis. La situation géopolitique du territoire peut ainsi se montrer défavorable et se révéler aussi contraignante que le milieu naturel, si on songe aux prix des produits, à l'organisation des marchés, au niveau technique qui permet l'irrigation, à l'organisation régionale défectueuse, comme on peut le déduire de la description de ces contrées pendant l'Antiquité [295].

Systématiquement répertoriées, ces données peuvent expliquer l'abandon des terroirs. Le scénario est connu. La modification progressive venue de la technique et conduite jusqu'à détruire la conjonction à l'origine de cette agriculture provoqua la dégradation de la mise en valeur et pour finir la désertion des sites. Les conditions insidieuses l'ont emporté sur les transformations liées à une situation de catastrophe pour le milieu [296]. Aussi pour l'œkoumène, les menaces se comprennent-elles dans le cadre d'une relation qui oppose un environnement fermé sur lui-même, l'écosystème désertique et ses terroirs, à un milieu ouvert, que définissent les techniques d'irrigation et les liaisons avec la vallée du Nil.

[293] Cf. l'étude d'anthropologie physique de J.-L. Heim, p. 207-223, in Fr. Dunand *et al.*, *op. cit.*, 1992.

[294] Cf. dame Toonah – IIe-IIIe siècle. apr. J.-C. New-York Metropolitan Museum. Cette figure d'un art égypto-romain tient à la main une couronne funéraire, similaire à celle des tombes de Douch.

[295] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.

[296] Le mot doit être compris selon le sens scientifique du terme, désignant une situation à l'origine d'une modification radicale des conditions d'équilibre du milieu désertique. Pour les oasis, cette catastrophe mésologique a des répercussions humaines, également catastrophiques pour le paysage aménagé.

Les terroirs produisent des denrées diverses, consommées sur place ou hors des finages, et dont le stockage [297] peut s'expliquer par le commerce qu'elles permettent. Les fours installés autour de Kysis indiquent également l'existence d'un artisanat. La céramique produite sert autant l'irrigation des terroirs (les canalisations hydrauliques) que les foyers domestiques (pot, marmite, jarre ou bouteille à huile, à vin et pour l'eau), locaux et forains. Dans ces conditions, le système oasien n'est pas totalement replié sur lui-même. Les *ostraca* décrivent des transactions qui font état de transports de marchandises (paille) et d'approvisionnements en aliments (légumes secs) à l'intérieur de la dépression de Kharga [298]. On peut penser que le trafic touchait aussi les semences et les produits récoltés ou vendangés (farine, huile pressée, bière [orge], raisin ou vin). Enfin, la vente par les habitants des produits de leurs vergers et jardins d'oasis (dattes, céréales et légumes secs) est mentionnée par les textes autant que l'achat d'objets parvenus de la vallée du Nil (céramiques) [299]. Les oasis sont donc intégrées à la géographie de leur époque, plus par l'écosystème qu'elles développent que par les contraintes de l'écologie désertique qu'elles cherchent à modifier ou à surmonter.

Kysis doit sa fortune à la rentabilité de son agriculture. Mais les terroirs restent menacés puisqu'ils se développent dans un environnement à risques. Leur écosystème fermé sur lui-même l'affronte tant que les intérêts l'emportent. En effet, face à ces dangers, des parades sont développées. Les espèces végétales retrouvées dans les tombes comme les équipements hydrauliques d'irrigation sont autant de moyens pour détourner les menaces que pour assurer la bonne venue des récoltes. En tenant compte de la permanence de ces caractéristiques et, parfois, en se servant d'un raisonnement mené jusqu'à l'absurde lorsque les preuves manquent, l'analyse du système éco-géographique permet d'expliquer le maintien du site jusqu'à son abandon.

L'eau est en effet l'entrave majeure puisque de simple contrainte elle peut devenir un risque et entraîner des dommages irréparables. Son utilisation doit peu aux pluies rares, insuffisantes, irrégulières et surtout absentes des moments les plus cruciaux durant le cycle végétatif, la germination et la maturation. Les plantes sont de ce fait menacées à tout instant de flétrissement et d'assèchement, en raison de l'évapotranspiration et de la texture des sols sableux et argileux. Aussi l'irrigation est-elle nécessaire et n'est-elle pas liée à une agriculture spéculative. À ces pratiques d'agriculture pure, on peut ajouter les techniques qui visent à mieux répartir l'eau. L'édification de petits barrages au travers de couloirs susceptibles d'être parcourus par des ruissellements de surface (terminaison occidentale de Tell-Douch, fig. 29), est en partie liée à l'existence d'un ruissellement pluvial. Leur réservoir contribuait à soutenir une pluviosité insuffisante.

L'irrigation d'origine artésienne permet de s'affranchir du calendrier des pluies. Mais en l'abolissant, son efficacité dépend du volume des nappes phréatiques, de la régularité de leur recharge et de la fiabilité du système hydraulique. De la même façon, utiliser en même temps des puits et des *qanawat* est un autre moyen de lutter contre le manque d'eau et

[297] Kysis comme *ksar* est par définition un grenier fortifié.
[298] G. Wagner, *op. cit.*, 1987.
[299] *Ibid.*

l'irrégularité des débits. Leur emploi montre que cette agriculture n'est pas de type pluvial, puisque dans ce cas la germination des plantes réclame impérativement au moins une dizaine de jours pluvieux successifs. Même en provenant des puits et des *qanawat*, l'écoulement et l'abondance de l'eau restaient dominés par une irrégularité permanente. La parade n'est pas parfaite. Aussi est-elle complétée par le couvert végétal lui-même.

L'oasien utilise des plantes qui se montrent relativement plastiques au cours de leur croissance. Le fait qu'il associe des espèces saisonnières et pérennes réduit ainsi les risques. Ces pratiques conduisent à étaler le calendrier des cycles végétatifs, à augmenter par une production diversifiée autant le rendement des plantes que, par leur mélange, la superficie des terres cultivées. L'association de végétaux développe également une autoprotection. En jouant sur la disparité des cycles végétatifs, on allonge la saison des récoltes et on réduit le temps de leur stockage.

Associés à d'autres indices, telle l'adjonction à l'irrigation par puits, de l'irrigation par *qanat*, les bouquets funéraires confirment la réalité de cette précarité. Leurs plantes relèvent d'un système de parades, qui cherche à pallier l'irrégularité du débit. On le détermine par le mélange d'espèces variées et complémentaires, par l'association d'arbres différents et capables de résister à la sécheresse, par la pratique de la jachère, de l'assolement, de la rotation des cultures, et par l'usage d'espèces couvrantes appelées à protéger le sol ainsi que par celui des haies d'arbres (Douch et Aïn Manawir).

D'autres pratiques déduites des précédentes peuvent leur être jointes. Ainsi, le mélange vraisemblable de variétés précoces et tardives veut-il tirer profit de l'irrégularité des débits ; comme, après une période de jachère, au moment des premières irrigations, la pratique de l'ensemencement précoce, quitte même à ressemer, s'il y a échec, cherche-t-elle également à profiter au mieux de la variation des débits.

Le modelage de la surface des champs pour assurer une distribution régulière de l'eau participe aux mêmes intentions. L'arrivée du flot et son cheminement dans les casiers favorisent en effet soit l'écoulement en nappe à la surface des parcelles, grâce à la distribution et à la répartition judicieuses des diguettes bordières ou internes, soit l'infiltration lente par les rigoles qui séparent les billons. De même, l'usage des cruches enterrées (pratique des canaris, photo 145) et pour l'arbre celui des fosses à plantation (usage de la trouaison retrouvé à Douch, photo 132 ?), permettent-ils une meilleure utilisation de l'eau.

Ces façons d'opérer observées à l'intérieur des parcellaires supposent des réserves d'eau naturelles ou constituées (puits-réservoir), des ouvrages capables de distribuer l'eau en suffisance (galeries souterraines), d'assurer sa répartition au bon moment à la surface des parcelles (chenal d'amenée et conduits de terre cuite), de la transporter en évitant le gaspillage (emploi des conduites rondes au lieu des auges découvertes). Cet équipement suppose une surveillance et la mise en place d'une autorité capable de veiller au partage équitable de l'eau et d'établir avec précision le décompte des heures d'irrigation (horloge à eau).

À ces menaces d'ordre écologique, il faut ajouter celles d'origine plus spécifiquement biologique. Ces dernières ne sont que supposées, car aucune preuve matérielle ne peut être présentée, sauf celles fournies par les macro-restes végétaux, après examen à but tératologique de leurs tissus. On peut cependant songer à des attaques de criquets, le Soudan proche étant une des régions de leur habitat. On peut ajouter des maladies cryptogamiques et se demander,

en particulier, si la rotation supposée des cultures et le mélange des espèces n'étaient pas des moyens pragmatiquement trouvés pour empêcher la propagation de maladies telle le striga, parasite des racines du sorgho, ou pour gêner la progression d'insectes nuisibles, en groupant à l'intérieur des parcelles des plantes dont les ports différents et les tailles inégales sont susceptibles de faire barrage à leur déplacement. La rotation des cultures peut être considérée aussi comme un moyen de se défendre contre des organismes dangereux, qui se montrent toujours plus virulents pour les parcelles soumises à la monoculture.

De la sorte, on peut se demander si ces usages ne dépendaient pas d'un savoir plus vaste, nourri par la connaissance de propriétés dont l'efficacité était reconnue par expérience. Car, parmi les végétaux inventoriés, on dénombre des plantes insecticides, dont *Imperata cylindrica*. La sécrétion de certaines espèces oléagineuses sert également à améliorer le stockage des graines (huile de coton), de même l'utilisation des cendres de certains bois (*Acacia nilotica*), sans parler du sable [300]. L'action insectifuge de la fumée est elle-même également connue.

Enfin, le sol conserve sa fertilité à condition de compenser par des apports nouveaux les sels minéraux éliminés par l'enlèvement et la vente des récoltes. La vie du sol est en effet fragile. Elle est atteinte ou détruite par l'incendie intempestif des chaumes, la monoculture [301], l'abattage des arbres, l'exposition trop longue des surfaces dénudées au soleil. Dans la vallée, les crues du Nil régénèrent les sols par le limon qu'elles apportent [302]. Or l'eau des puits et des *qanawat* est une eau claire, sans trouble, ni charge limoneuse, mais possiblement riche en matières dissoutes. La fertilisation des sols ne peut donc lui être directement imputée. Celle-ci ne peut être assurée que par l'humidification, toujours très lente en milieu sec, d'une litière elle-même faiblement entretenue (arbres fourragers, arbres semper virens). Seul l'incendie des chaumes ou l'épandage des cendres des feux domestiques peuvent apporter des sels minéraux que le vent peut aussi déposer [303]. Les engrais naturels organiques étant rares, ils ne peuvent être produits que par l'agriculture elle-même, par le fumier des étables ou des parcs à bestiaux, par des composts [304], ou des engrais verts, selon une terminologie contemporaine (légumineuses enterrées). Des effets de procédés plus naturels peuvent leur être joints. Les plantes elles-mêmes par l'action de leur racines créent des structures édaphiques qui facilitent l'infiltration de l'eau. On sait que les racines pivotantes creusent le sol en profondeur ; les racines fasciculées le divisent en surface (photo 149) ; les bulbes et tubercules modèlent le sol en le comprimant. Tout ce

[300] Il est fait mention de lentilles vendues sans terre, car débarrassées de leur protection ? Cf. *ibid.*

[301] Les céréales et le lin épuisent le sol. L'effet est connu dans l'Antiquité, cf. Tacite, *La vie de Cn. Julius Agricola*, XXXI, 2.

[302] Cf. Hérodote, *Histoire* II, 10.

[303] Les pots à fond troué trouvés à Douch pourraient-ils être des répartiteurs-semoirs de cendres et donc d'engrais ?

[304] Le moût de pressoir conservé, tel celui trouvé à Aïn Manawir, servait-il à cet usage ? Les macro-restes comportent des noyaux d'olive. L'échantillon traité s'est montré composé d'un résidu lipidique incluant des restes végétaux (brindilles et écorces fines, des grains d'orge). Les micro-restes sont des pollens de céréales, d'olivier, de légumineuses et de graminées. La corrosion des pollens de céréales, plus poussée que celle des pollens de l'olivier, esquisse peut-être une histoire du parcellaire. À un premier état consacré à la céréaliculture ne pourrait-on pas associer un second plus récent et consacré à la culture de l'olivier, plante introduite au cours de la phase romaine de l'occupation des sites ? Cette histoire démontrerait ainsi l'utilisation longue, mais modifiée des parcellaires.

travail mécanique aère la terre et facilite la pénétration de l'eau d'irrigation avec pour risque la salinisation des fissures [305].

De même, le souci d'ameublir la terre se retrouve-t-il dans les pratiques culturales observées, labour à plat (photos 159, 200), buttage (photos 170, 184) et billonage (photos 172, 198) des sols ou constitution de planches de culture (photo 158) et de casiers d'irrigation (photos 163, 189). Ces façons de travailler la surface des champs favorisent l'infiltration de l'eau, comme son drainage, vers l'aval des parcelles, pour éviter leur salinisation. Elles facilitent en outre la consumation lente des plantes enfouies et permettent par l'échauffement des particules argileuses du substrat la fourniture de sels fertilisants. Elles favorisent en outre l'apparition de racines adventices.

Connues par l'expérience, ces diverses pratiques agricoles et leurs effets commandent la fertilité des terroirs et leur longévité. La rétraction des parcellaires, l'abandon d'une partie de ces pratiques et de ces usages culturaux peuvent expliquer l'abandon de Kysis. Mais la menace a pu venir de l'irrigation même. En effet si les dangers du milieu naturel deviennent des risques par le développement de l'agriculture irriguée, celle-ci, par son mode d'arrosage exclusif, propage également des menaces qui peuvent amplifier les dangers de nature.

3.27 LES RISQUES LIÉS À L'IRRIGATION

La réalité de ces menaces ne peut s'évaluer que dans un cadre systémique [306]. Les procédures de sauvegarde qui en résultent, dépendent autant des pratiques culturales que des cultures. En contre-partie, ces façons de cultiver se comprennent mieux, si les terroirs se trouvent exposés au danger.

Les relations établies entre les installations hydrauliques et les terroirs, révèlent qu'un système de défense caractérisait donc ce secteur de l'agriculture des oasis. On peut de la même façon concevoir que l'ensemble des équipements d'irrigation constitue un système technique, par définition propagateur de danger. Considéré de la sorte, il présente des défaillances que des méthodes d'analyse particulières évaluent. Comme ce système technique a lui-même évolué dans le temps [307], on peut espérer mieux comprendre, à l'aide de ces méthodes d'investigation du danger, si les modifications sont à l'origine ou non de l'abandon des oasis, ou si d'autres causes sont à évoquer, qui seraient d'ordre territorial ou mésologique.

[305] La fossilisation de l'enracinement fasciculé conservé par le sel en est la preuve matérielle.

[306] D. Durand, *La systémique*, Paris, 1987. L. von Bertalanffy, *Théorie générale des systèmes*, Paris, 1973. B. Walliser, *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse des systèmes*, Paris, 1977.

[307] Cf. la terminologie redondante grecque et égyptienne sauf pour le *qanat*, M. Reddé, *op. cit.*, in *Les problèmes institutionnels de l'eau en Égypte ancienne et dans l'Antiquité méditerranéenne*, Le Caire, IFAO, 1995.

3.27.1 UN SYSTÈME NÉCESSAIRE

Pour l'agriculture oasienne, on peut lier le développement d'un système de défense à la question que se pose tout agriculteur d'un milieu aride : comment maîtriser le cycle hydrologique au profit des champs et modifier techniquement l'écoulement de l'eau sans introduire de risque ? On sait aujourd'hui que maîtriser la mobilité de l'eau consiste à contrôler son infiltration, son déplacement dans les sols ainsi que la remontée capillaire, à éviter la salinisation de la terre, à diminuer l'évapotranspiration et, plus rarement, l'effet des chutes de pluie et du ruissellement, comme, également, à réduire les attaques érosives du courant en freinant la vitesse de son écoulement dans les chenaux d'amenée. Or l'observation des vestiges prouve que les pratiques culturales luttaient contre ces dommages dus à l'arrosage, ainsi que le suggèrent l'installation de coupelles destinées à ralentir l'eau aux extrémités des conduits (photo 164), pour le parcellaire de Kysis nord, et le décapage des sols salés pour les champs de Douch sud (photo 168).

À l'intérieur des parcelles, la défense contre une irrigation mal contrôlée se démontre par les techniques culturales pratiquées. Les vannes à bornes et à seuil en pierre sont destinées à freiner l'érosion de l'écoulement. L'usage des billons perpendiculaires à la pente ou celui des billons cloisonnés par des digues comme l'utilisation de diguettes de pente ou de retenues dans les ravines, sur le piémont nord à Tell-Douch le démontrent à leur tour. La parade vise aussi à réduire l'évaporation comme la pratique du binage à la surface des champs antiques l'indique, et à faciliter l'infiltration de l'eau d'arrosage, par le labour à plat, par la présence d'arbres en bordure de parcelle, ou par le maintien d'une couverture de végétaux, comme le manifeste aussi l'empreinte de feuilles de palme incrustée à la surface des champs, à Tell-Douch.

Dans ce système, en effet, les plantes jouent un rôle, en protégeant le sol, en se révélant être elles-mêmes une réserve d'eau et en produisant, plus rapidement que les plantes de leur environnement, de la matière vivante capable en retour d'enrichir le sol travaillé. Il faut ajouter leur protection du sol contre l'érosion pluviale. Rare sans doute, l'érosion des sols n'en est pas moins importante au moment du paroxysme des précipitations. Et les dépôts du piémont nord de Tell-Douch ont révélé que ce danger existait au temps de Kysis. En effet, les pellicules de limon qui enduisent les auges des hydragogues ou la surface des buttes profilées, rappellent la réalité de ces écoulements boueux (photo 45). De même, les fins dépôts interstratifiés dans le remplissage sableux des fosses des *qanawat* attestent leur fréquence et leur récurrence (photo 13).

Dans l'Antiquité, l'emploi de plantes rampantes ou étalées, tel le concombre ou le coton, semble suggérer que l'oasien se défendait contre ce risque. La prévention qui cherche à se prémunir contre l'ouverture de brèches en consolidant les digues conduit à l'usage de levées couronnées d'herbes folles, telles celles mêlées aux plantes qui forment les bouquets des tombes. Toutefois le danger peut surgir de l'irrigation même et des défaillances des conduits qu'elle utilise.

3.27.2 UN SYSTÈME DÉFAILLANT

Banalement, on peut affirmer que l'abandon du site a été inéluctable lorsque, l'abondance en eau diminuant, l'irrigation n'a plus été capable d'assurer l'activité agricole ou lorsque, faute d'être maintenus en bon état, les équipements hydrauliques n'ont plus assuré le drainage de l'eau et son transport. Toute description des *qanawat* insiste sur ce dernier aspect qui peut paraître une évidence. Le *qanat* achevé, les regards qui jalonnent le parcours de la galerie ont pour objet, de surveiller l'excellence de son état. Pour les galeries de la région de Douch, on observe que de semblables efforts ont été entrepris pour éviter l'assèchement des installations en assurant ce que de nos jours on appellerait la sûreté du système [308]. Mais à cette époque, la consommation de la ressource hydrique n'a pas été capable d'éviter les dangers et en conséquence d'estimer leurs dommages sur les parcellaires. Le risque était masqué par la redondance des installations hydrauliques [309] qui à l'intérieur du système assuraient un approvisionnement régulier.

Si on admet que l'agriculture des oasis reposait sur un système technique, on peut analyser l'abandon du site, comme le font de nos jours les sciences du danger [310], en termes d'événements et de défaillance de système.

Le système hydraulique peut être de la sorte intégré à un arbre d'événements (fig. 46). À l'intérieur du réseau, la distribution de l'eau est fondée d'abord sur l'autonomie des puits et des *qanawat*. Un graphe en forme d'arbre permet d'analyser la gravité des dommages occasionnés par le tarissement des nappes qui alimentent ces ouvrages. Les équipements actifs définissent la branche positive de l'arbre, les équipements inactifs sa branche négative. Les probabilités pour lesquelles les puits fonctionnent ou non sont dites P1 et P2 ; celles pour lesquelles les *qanawat* fonctionnent ou non sont dites P3 et P4. Elles font référence à la surveillance du système des drains et des hydragogues par le cureur des fossés et l'oasien lui-même.

Les possibilités de dommages en fonction de leur gravité croissante sont les suivantes :
– puits en eau (P1) et *qanat* actif (P3) = dommage mineur ou nul. Il se réduit à une répartition inharmonieuse et fautive de l'eau dans les parcelles ;
– puits en eau (P1) et *qanat* asséché (P4) = dommage limité. L'insuffisance du système peut être compensée par un temps d'irrigation prolongé, car assuré par les puits – et le cas du puits-*qanat* peut le démontrer – ou par l'établissement de rigoles dérivées d'un ouvrage voisin ;
– puits tari (P2) et *qanat* actif (P3) = dommage important. Le débit des *qanawat* est inférieur à celui des puits, en raison d'une alimentation liée à une nappe perchée dont la recharge la plupart du temps est plus difficile à assurer. L'exemple est fourni par l'existence de *qanat* de puits ;
– puits tari (P2) et *qanat* asséché (P4) = dommage irrémédiable. C'est la fin du système, sauf renouveau technique par un forage profond.

[308] C'est le cas des puits de *qanat*.

[309] Puits et *qanawat* entretenaient une situation sécurisante pour l'oasien.

[310] Les cindyniques dont on trouvera une description dans G.-Y. Kervern, P. Rubise, *L'archipel du danger. Introduction aux cindyniques*, Paris, 1991, plus précisément p. 18-35. G.-Th. Guilbaud, *Mathématiques. T1 Ensembles et fonctions. Calcul exponentiel*, Paris, 1963.

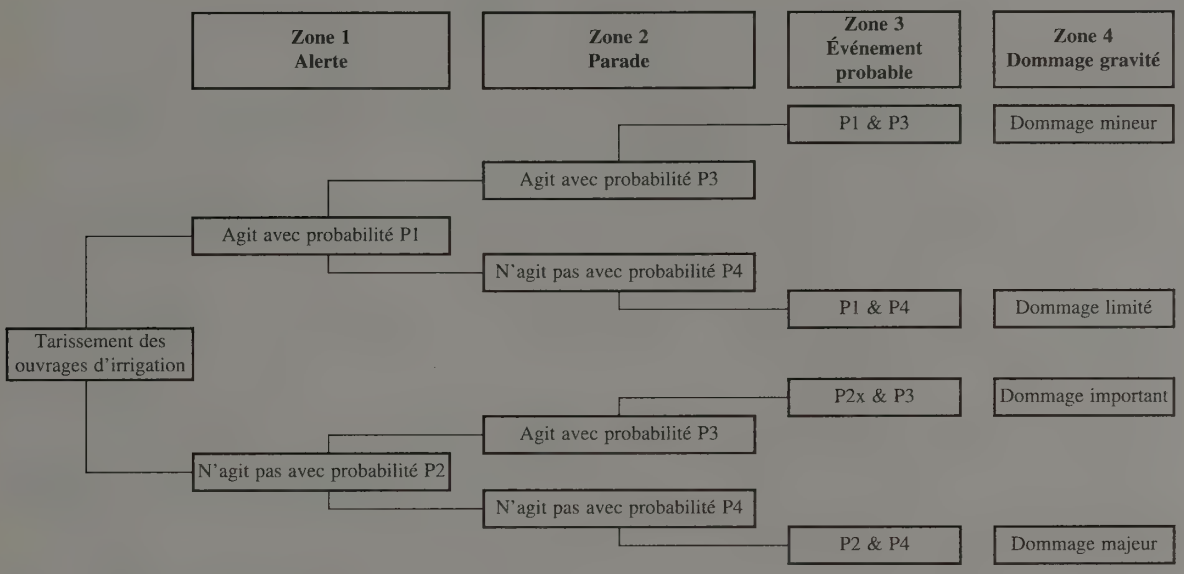


FIG. 46. *Graphie des dommages.*

L'entretien du réseau de distribution de la galerie de drainage à la rigole des hydragogues dépend de la surveillance du cureur des fossés et de l'oasien qui irrigue.
P1. Surveillance du cureur de fossé.
P2. Défaut de surveillance du cureur de fossé.
P3. Surveillance de l'oasien.
P4. Défaut de surveillance de l'oasien.

Ce type d'analyse fait apparaître le *qanat* local comme une innovation technique qui à un moment de l'occupation des sites a permis le développement des parcellaires. L'analyse des dommages permet de le comprendre, en l'absence de toute autre preuve plus matérielle. Le *qanat* cantonne en effet le dommage dans la catégorie des risques moindres.

Les dommages peuvent être également évalués à partir des défaillances qui affectent les trois systèmes à l'origine de l'eau d'irrigation (fig. 47). Ces défectuosités sont définies par des événements qui affectent les systèmes, ainsi que par les fonctions qui les caractérisent.

Selon la terminologie utilisée, cette analyse repose sur la reconnaissance d'événements dénommés initiaux, induits, conditionnels, qui désorganisent l'écoulement de l'eau, et sur la détermination de fonctions matérialisées par les conjonctions « et », « ou », « si », qui, par association, par alternative, par condition, spécifient les enchaînements qui leur sont attachés (fig. 48).

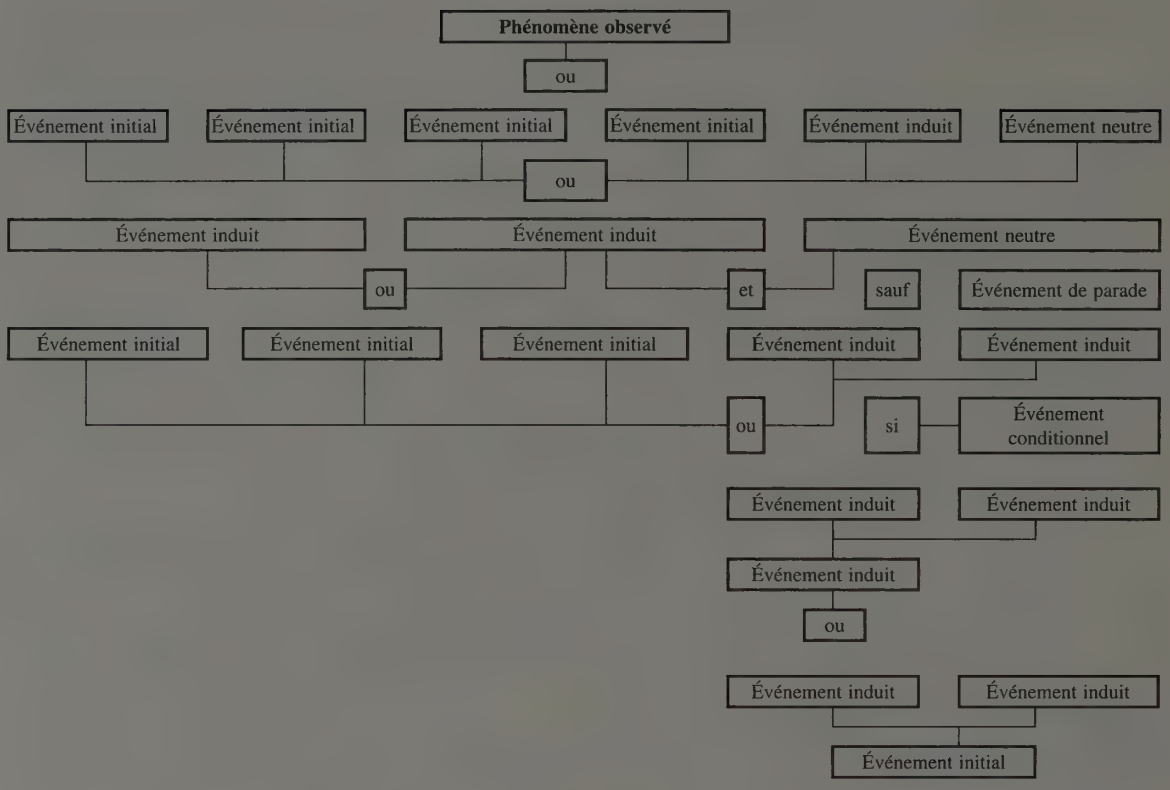


FIG. 47. *Plan d'un arbre de déficience.*

3.27.3 LE SYSTÈME DE LA CIRCULATION VADOSE

Les événements initiaux sont liés à l'obturation des fissures qui assurent la circulation vadose de l'eau, à travers les grès, ou à l'absence de recharge des nappes. Ces événements qui peuvent intervenir en même temps ou non, provoquent l'abaissement du niveau des réserves et l'interruption de l'écoulement.

L'observation des fissures montre que sur la longue durée une telle évolution n'est pas impossible. Les dépôts ferrugineux trouvés à Aïn Manawir en sont une confirmation (photo 16).

3.27.4 LE SYSTÈME DES PUITS

L'événement initial est l'obturation du conduit par éboulement. Les éjecta de curage disposés en couronne autour de la cuve du puits démontrent que l'effondrement des bords est récurrent.

Les événements induits sont l'étiage du puits comme la pratique d'une irrigation conduite jusqu'à son arrêt inéluctable.

Le tarissement du puits survient quand l'un ou l'ensemble de ces événements se produit.

3.27.5 LE SYSTÈME DES QANAWAT

Il n'obéit pas tout à fait aux mêmes types d'événements.
Les événements initiaux font apparaître le *qanat* comme un équipement fiable.
L'événement induit correspond à l'étiage de l'écoulement.
L'événement conditionnel est dû à l'écroulement d'une portion de la galerie en tunnel.

Ainsi le tarissement du *qanat* survient-il, s'il y a rupture par éboulement.

3.27.6 DU DANGER AU RISQUE

L'ensemble de ces événements qui touchent à la fois les puits et les *qanawat*, provoque l'arrêt de l'écoulement, compris comme un événement induit lui-même, d'autant plus que le fonctionnement du système naturel peut lui-même être défaillant.

En revanche, que l'interruption de l'écoulement se réalise au cours d'une période de canicule est, pour les trois systèmes d'alimentation en eau, un événement neutre qui n'affecte pas la fiabilité du système, puisqu'il corrige par principe la sécheresse du climat.

Il résulte de la concomitance de ces différents événements un arrêt de l'écoulement qui est toujours un événement induit lui-même. Le système est complexe puisqu'il associe différentes actions. Au cours de l'écoulement, d'autres événements initiaux peuvent affecter le cheminement de l'eau. Ainsi la rupture des conduits d'amenée d'eau est-elle une défaillance qui concerne les hydragogues ; de même, détourner de l'eau, gaspiller ou piller la ressource, au point de susciter la rédaction de contrats de distribution, comme négliger d'ouvrir les vannes expliquent-ils le débordement de l'eau, son étiage et la destruction temporaire des digues. Autant de faits dont les traces sont observées au seuil des champs [311]. En revanche, les fuites aux conduites ou les pertes par évaporation à la surface des chenaux sont des événements neutres. L'abondance du débit peut compenser ce surcroît de consommation.

On observe que cet arbre de déficience s'inscrit dans le système qui intègre les concepts d'efficience, d'efficacité, de déficience du milieu (fig. 11). Cet enchaînement d'événements qui explique la défaillance de l'équipement hydraulique, appartient ainsi à la dynamique d'un système. Il assure l'alimentation en eau des champs tant que le danger n'est pas devenu risque.

Au terme de cette analyse de la place du risque au sein du paysage humanisé, on prend conscience que l'abandon du site doit peut-être plus au développement d'un système d'irrigation complexe qu'à des changements radicaux opérés à l'intérieur du milieu naturel. Il convient donc de conclure sur la place tenue par les ouvrages de l'irrigation.

[311] Le cureur signalé dans un *ostracon* de Douch pourrait avoir cette fonction de surveillance des chenaux d'amenée d'eau (renseignement G. Wagner).

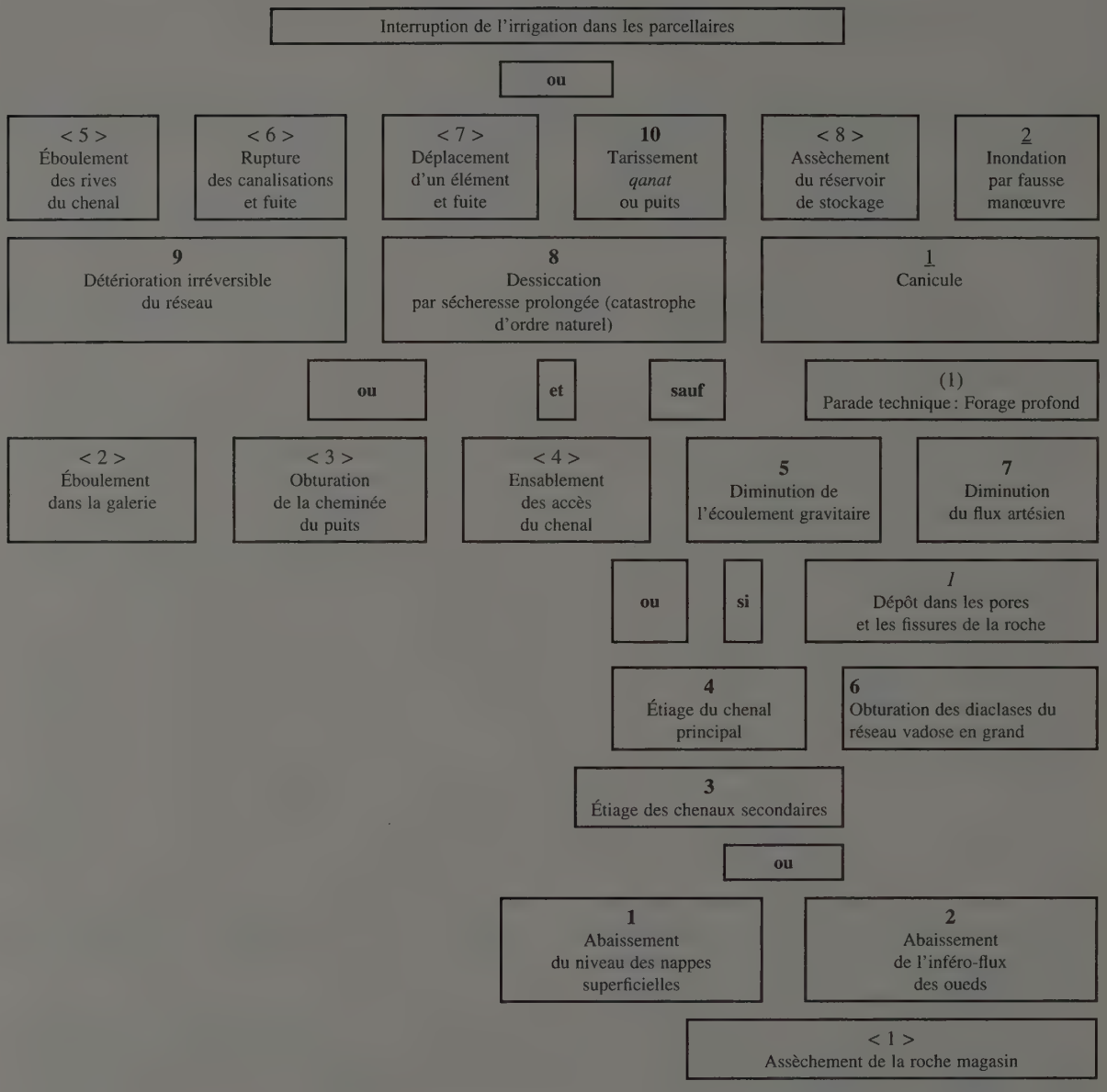


FIG. 48. *Arbre de déficience : schéma.*

Légende de l'organisation de l'arbre de déficience.

– LES ÉVÉNEMENTS.

<1> Événement initial. – **1**. Événement induit. */* : Événement conditionnel. – 1 : Événement neutre. (1). Événement futur ou de parade.

– *Événement initial.*

<1> Assèchement de la roche-magasin. <2 > Éboulement dans la galerie. <3 > Obturation de la cheminée du puits. <4 > Ensablement des accès au *qanat*. <5 > Éboulement des rives du chenal du puits. <6 > Rupture des canalisations de l'hydragogue. <7 > Déplacement d'un élément de la conduite. <8 > Assèchement du réservoir de stockage.

– *Événement induit.*

1. Abaissement du niveau des nappes superficielles. **2**. Abaissement de l'inféro-flux des oueds. **3**. Étiage des chenaux secondaires. **4**. Étiage du chenal principal. **5**. Diminution de l'eau gravitaire. **6**. Obturation des diaclases du réseau vadose en grand de la roche-magasin. **7**. Diminution du flux artésien. **8**. Dessiccation par sécheresse prolongée. **9**. Détérioration irréversible du réseau. **10**. Tarissement du puits ou du *qanat*.

– *Événement conditionnel.*

1. Dépôt d'oxydes métalliques dans les pores et les fissures de la roche.

– *Événement neutre.*

1. Canicule. 2. Inondation par débordement d'une vanne fermée par fausse manœuvre.

– *Événement futur ou de parade.*

(1). Forage profond et pompe à moteur.

– L'ENCHAÎNEMENT DES ÉVÉNEMENTS.

Et : l'événement de sortie survient lorsque tous les événements d'entrée surviennent.
Ou : l'événement de sortie survient lorsque l'un quelconque des événements d'entrée ou plusieurs surviennent.
Si : l'événement de sortie survient lorsque l'événement d'entrée survient à condition que les autres événements d'entrée surviennent aussi.
Sauf : l'événement d'entrée ne survient pas, corrigé par l'événement de sortie.

Commentaire

La lecture de l'arbre de déficience se fait de bas en haut.

Le tarissement des *qanawat* est commandé par les événements qui affectent l'écoulement de l'eau ou bien celui du réseau de transport. Dans le premier cas, le flux de l'écoulement est visé. Dans le second cas, c'est le débit de l'eau aussi bien dans sa partie souterraine qu'aérienne.

L'assèchement de la roche est l'événement aléatoire initial ou de base. L'étiage des galeries affluentes ou principales et celui des puits se réalisent par l'abaissement du niveau des nappes superficielles ou l'abaissement de l'inféro-flux des oueds. Un écoulement artésien peut toutefois permettre encore le fonctionnement du système. Cet écoulement peut fortement diminuer à condition que des dépôts obstruent le réseau des fissures de la roche. Les deux événements peuvent être concomitants dans le cadre d'une dessiccation générale de la roche lors d'une sécheresse prolongée, à comprendre comme une « catastrophe » d'ordre naturel. Il en résulte l'inutilisation des installations hydrauliques et l'interruption de l'irrigation. Mais le flux artésien dans le cadre d'une innovation technique peut assurer l'irrigation en plaine, et non plus sur les piémonts puisque l'écoulement gravitaire ne peut plus exister. La détérioration du réseau dépend de causes multiples indépendantes les unes des autres. Souvent les conséquences sont irréversibles. Certaines le sont moins, en particulier celles qui désorganisent la distribution de l'eau en surface. Enfin, une innovation technique peut jouer le rôle de l'événement de parade et relancer l'irrigation interrompue.

3.28 LE SYSTÈME TECHNIQUE ET SON ÉVOLUTION

L'évolution du système [312] présente une série de caractéristiques qui permettent de définir le cadre de la culture hydraulique de cette société oasienne.

À l'origine, les puits artésiens naturels ont permis l'agriculture. Les points d'eau qu'ils constituent ou les nappes d'eau qu'ils alimentent sont les lieux de sa dissémination.

Leur usage caractérise le système local de l'irrigation qui commande l'extension des oasis. On peut y rattacher les barrages réservoirs et les parcellaires de décrue des mares.

Ce premier système a été complété par une autre technique de captage et de drainage de l'eau, les *qanawat*. Cet équipement est abandonné de nos jours dans la dépression de Kharga, à la différence des oasis plus septentrionales (Bahariya).

Le lieu d'origine de cette technique n'est pas déterminée. L'invention est locale (*qanat* kysite hétéroclite), si on admet le principe du choix comparable. Leur modèle a pu s'inspirer de l'alignement des évents artésiens, comme on peut l'observer à Dikura-sud. Mais il peut être lié à des influences extérieures (*qanat* homogène d'Iran), propagées par des migrations de ruraux venus du Proche-Orient et intégrés à la société indigène [313], ou par l'occupant perse ou romain, ce dernier utilisateur de la technique en Orient [314].

Ces influences font d'une oasis soit un système fermé mais capable de se renouveler, soit un système ouvert mais vulnérable. Intégrées également au système, les plantes originaires de domaines floristiques divers dépendent d'influences lointaines, dont certaines d'origine anthropique, comme l'indiquent aussi bien les dates supposées de leur introduction en Égypte que le moment de leur utilisation dans les oasis. Le système ouvert impose une dimension spatiale à l'aménagement des oasis que l'analyse éco-géographique confirme. Un double changement de l'échelle à la fois locale et régionale aurait affecté la pratique de l'irrigation. Le système devenu plus complexe se serait révélé incapable d'assurer à l'innovation technique une application systématique autant qu'inapte à maîtriser l'extension des terroirs.

Le système indigène originel suffisait en effet à maintenir une activité agricole et une vie sociale au sein des oasis. L'une et l'autre se montrèrent capables d'affronter les dangers locaux du désert, comme d'établir des relations avec le reste de l'Égypte et de nouer des échanges avec d'autres régions plus lointaines.

Il est vraisemblable que le système a été trop modifié par l'implantation des réseaux de *qanawat*. L'équipement singulier était destiné à fournir de l'eau aux sites où se fixait une garnison plus ou moins étoffée, comme le montrent les postes d'Aïn Labakha et de Umm al-Dabadib, en même temps qu'il était chargé d'alimenter les parcellaires établis à la périphérie des jardins-vergers d'oasis (Dikura par rapport à Douch).

[312] J. Tricart, « Système expert pour l'étude, l'évaluation, la gestion et l'aménagement des ressources en eau », *RGD* XXXVIII/4, 1989, p. 129-144.

[313] Peut-on penser à des sémites ou à des juifs présents à Alexandrie et dans le reste de l'Égypte et non seulement dans les villes, mais aussi en milieu rural et villageois, selon M. Sartre, *L'Orient romain*, Paris, 1991, p. 392, et présents à Cyrène et dans le Tadmaït, à la même époque que celle de l'occupation de Kysis ? Cf. également G. Wagner, *op. cit.*, 1987, p. 246 qui cite des noms d'origine cananéenne, et N. Marouf, *op. cit.*, 1980.

[314] D. Kennedy, D. Riley, *Rome's Desert *Frontier*. From the Air*, Londres, 1990, p. 136 et 144.

À Kysis, la situation est différente, car la généralisation des réseaux de *qanat* a joué le rôle de condition insidieuse. Cette expression est utilisée par les analystes attentifs aux phases de transition qui permettent de parcourir les divers états d'un système. Elle souligne que les insuffisances du système et les risques inhérents ne se manifesteront que progressivement dans le temps. On l'observe à Kysis. Les réseaux que forment les *qanawat* semblent n'avoir pas servi pendant toute la période d'occupation des sites, si on se réfère aux dates qu'indiqueraient les types de céramique retrouvés dans les galeries.

L'extension des parcellaires forains a sans doute contribué progressivement au tarissement des nappes les plus hautes, celles que captent les galeries de drainage, en même temps qu'elle assurait la renommée des oasis. Ces drains souterrains ont sans doute endossé dans l'intervalle de leur usage deux rôles successifs. Un premier, celui d'exploiter intensivement une ressource qui paraissait abondante ; un second, celui de drainer des réserves hydriques de plus en plus amoindries. Aussi, l'abandon des sites peut-il, sur le long terme, être mis sur le compte du réseau des galeries, en raison de leur prolifération que traduisent l'extension et l'allongement de leurs tunnels.

Il s'en est suivi une modification des données hydrogéologiques et l'introduction d'un régime incertain. Le danger permanent s'est transformé en menace, puis en risque inéluctable pour les finages. L'abondance des ressources, due à une conjoncture naturelle favorable, réduisait la menace. L'équilibre hydrologique, dont dépendaient les terroirs, n'était pas entamé par l'utilisation unique des puits. Il fit oublier la probabilité que se développe un risque, puisqu'aux sources naturelles des puits s'ajoutait l'apport des nappes perchées captées par les *qanawat*. L'autonomie de ces galeries drainantes vis à vis des puits semblait confirmer l'existence de nouvelles ressources, considérées sans doute comme inépuisables puisque garantes de cette autonomie. De la sorte, le système a été intégré à l'organisation d'une vie sociale collective comme le souligne la comptabilisation des tours d'eau, des jours d'arrosage, etc. L'abondance de l'eau et sa socialisation ont développé un cadre de vie sécurisant, isolé d'un environnement resté menaçant.

Victime de son efficacité, ce double système d'alimentation en eau a été ensuite utilisé comme la parade qui permettait de faire face à l'abaissement des nappes. Mais cette évolution s'est faite au détriment de l'autonomie des équipements. Le passage du *qanat* de puits au puits de *qanat* en serait la conséquence, avant que ne soit réalisé le tarissement des réservoirs (fig. 24).

Oubliant que la ruine des terroirs de Kysis dépendait d'un danger à la fois probable et grave, l'exploitation intensive de l'eau par les oasiens afin de répondre à une demande plus forte a fait basculer du danger acceptable au risque inacceptable le système de mise en valeur, pourtant dès l'origine installé dans un milieu sensible. Le développement de l'agriculture qui reposait sur un premier système, pourrait-on dire fiable, s'est poursuivi dans le cadre d'un second devenu peu à peu défaillant. Les *qanawat* ont déclenché une boucle rétroactive positive qui n'a fait qu'accentuer la précarité de la vie dans les oasis [315]. Les finages sont devenus vulnérables, même si les terroirs conservaient leur efficience.

[315] Il est possible que l'amenuisement des apports des condensations nocturnes ait également augmenté le risque.

L'association d'équipements autonomes n'a pu éliminer le régime incertain introduit par les fluctuations du système hydraulique. Cette complémentarité forcée ou voulue des équipements n'a pu réduire le danger. Elle n'a fait qu'accentuer le risque. Le système a basculé dans une situation à caractère irréversible, celle de la disparition des nappes les plus hautes. L'introduction actuelle du forage profond se présente comme une solution provisoire. Cette innovation moderne aura le même rôle que le *qanat* antique. Le processus naturel de l'artésianisme est seul à pouvoir assurer le maintien des jardins et vergers d'oasis. Les autres installations hydrauliques ne sont que des pis-allers. Elles réussissent à étendre la superficie des terroirs avec succès. Mais elles désorganisent ce qu'on pourrait appeler le programme mésologique défini comme l'ensemble des processus et des relations qui règlent le fonctionnement de l'écosystème et le rythme de la dynamique hydraulique.

L'incompatibilité de ces deux systèmes mis en concurrence s'explique par la disparité de l'échelle de leur application, qui se révèle encore plus hétérogène, quand l'un et l'autre ne sont plus en phase. Le projet de la société oasienne à visée spatiale et extensive hâte le temps de nature. Il impose au milieu une telle intensité dans son exploitation qu'il se révèle incompatible avec la longue durée dans laquelle s'inscrit le rythme mésologique. Ce dernier situe en conséquence le puits et ses crues à l'intérieur d'un espace restreint. Le point d'eau isolé ne peut donc accompagner la conquête territoriale d'une agriculture qui se veut plus diversifiée. En revanche, le réseau de *qanawat* s'est révélé être le moyen technique pour étendre dans la plaine une activité préalablement cantonnée au piémont et aux alentours des sources naturelles. En un mot passer du puits au labyrinthe des *qanawat*, c'est transformer un point en étendue. Mais le temps long du renouvellement des nappes ne peut assurer par des processus compensatoires le régime incertain qu'introduit le projet de cette société oasienne rattachée à un territoire d'Empire. Lorsque l'oasis est réduite à un territoire moins vaste, le puits redevient le moyen de son maintien. Autrement dit, le puits se réfère au temps local de nature, le *qanat* à une étendue territoriale d'Empire que son invention soit locale ou que son implantation soit importée. Elle a un pouvoir de délocalisation dont l'effet a été de désorganiser le système phréatique de l'oasis. La disjonction du temps et de l'espace pratiquée a conduit insidieusement à la déshérence des sites.

L'effet a été d'autant plus dévastateur qu'aucune activité de substitution n'a pu s'établir à l'intérieur de cet espace revenu à des dimensions plus restreintes, pour ne pas dire aux dimensions originelles de sa géographie initiale. En effet la péjoration des conditions mésologiques n'a pas permis d'ouvrir des relations de commerce avec le sud. Le désert est difficile à traverser, d'autant plus lorsqu'il est en période de forte déflation éolienne, comme de nos jours. Les guides qui assurent le succès d'un voyage de « quarante jours » sont une mémoire qui ne peut être remplacée. La désorganisation des oasis a dû entraîner leur dispersion, pour ne pas dire leur disparition et donc l'oubli des relations ténues établies avec les contrées méridionales.

L'influence des échelles joua à nouveau en défaveur de ces contrées d'Empire à la bordure d'un désert vide et difficile à franchir. La mobilité du désert est désorganisatrice de sa géographie. Elle fut une des causes de l'abandon des sites que l'on peut comprendre en fonction

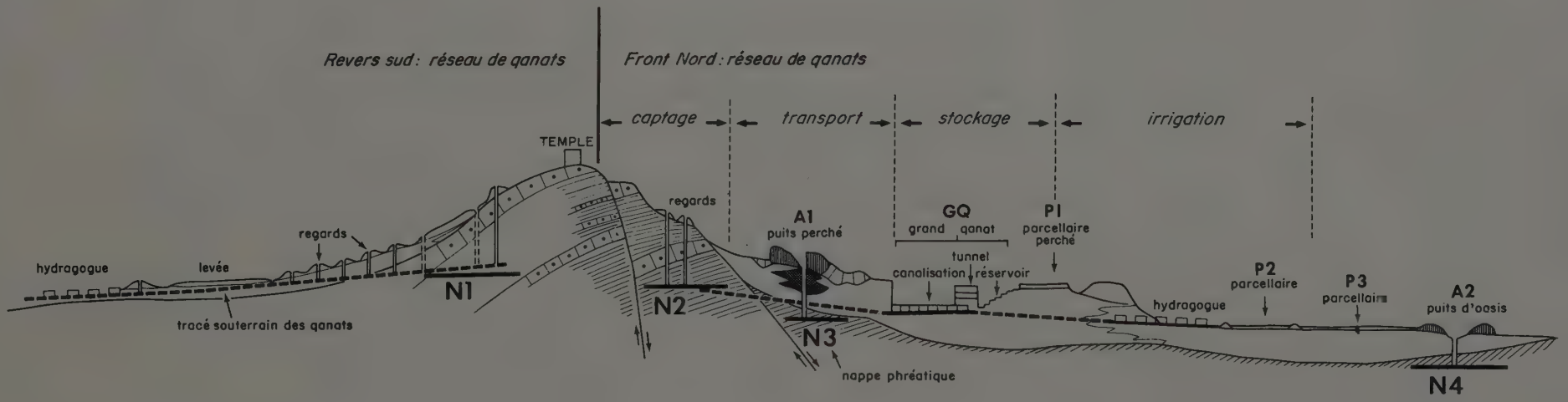
d'une conjoncture longue qui procédait d'une triple série de facteurs. Ces caractéristiques furent à l'origine d'un modèle d'éco-organisation particulier lorsque l'oasis était voisine d'un relief (fig. 49).

3.29 LE DÉSERT À LA PLACE DES OASIS

On peut alléguer d'abord un changement d'origine climatique des conditions du milieu physique, considérées sur le long terme de l'histoire de la nature. La dessiccation de la zone la plus superficielle de la dépression de Kharga a entraîné un assèchement des sols cultivés d'autant plus sévère que leur capacité de rétention est faible. Le sable revint et envahit les terroirs d'autant plus facilement que l'accompagnaient le tarissement des nappes superficielles phréatiques et l'abaissement du niveau des nappes profondes, devenues de plus en plus hors de portée des forages de l'Antiquité.

Il faut ensuite ajouter le changement technique dans le mode d'appropriation de l'eau. L'épuisement des gisements hydriques les plus superficiels est dû à l'exploitation minière de la ressource par les galeries de drainage. Puis la mise en réseau du système des drains accéléra le tarissement des réserves. De même, le développement des parcellaires forains accentua les pertes pendant le transport de l'eau par aqueducs. Il s'en est résulté un gaspillage de la richesse hydrique et l'apparition du risque introduit par le danger provenant de la dessiccation de plus en plus accentuée du milieu. Cet assèchement s'est montré d'autant plus sévère qu'il a été à la fois d'ordre aérologique avec l'accentuation des conditions à terme de plus en plus propagatrices du désert, et d'ordre édaphique avec l'atténuation des mécanismes artésiens, les seuls à pouvoir fournir de l'eau aux zones supérieures du substrat lithologique.

Enfin à ces modifications qui touchèrent le milieu géographique des oasis, il faut ajouter la dégradation qui dans l'imaginaire géographique du moment affecta la représentation flatteuse des oasis, sécrétée par une société rendue plus sûre d'elle-même au fur et à mesure d'une appropriation réussie du désert, conduite à partir des sources artésiennes. L'image d'un pays fertile, accueillant et secourable est attachée à un terroir qui relevait d'un territoire en train de devenir de plus en plus vaste. Elle était pourtant localement modifiée et fut en définitive contredite par l'abandon sélectif et progressif qui affecta certaines fractions de ces sites, au cours même de leur occupation. Le décalage qui s'est institué entre leur représentation et leur réalité, en raison de la géographie modifiée de leurs territoires, a conduit peu à peu à la déshérence des oasis et à l'abandon de leur finage. Le désert, sa mobilité et son image de désolation devinrent désormais le nouvel environnement de ces terres délaissées.



Revers Sud :

Qanat en trois segments : - *amont*, avec regards et levées
- *centre,* suite de regards
- *aval,* chenal à levées avec dernier regard.

N1 : niveau de la nappe à l'époque de l'utillisation.

Front Nord

A1 : puits perché intégré au réseau de front

GQ : grand qanat, modèle possible avec un bassin réservoir. Il apporte l'eau à **P2**

Dans la plaine, **A2** est un puits d'irrigation de cuvette, **P3** son parcellaire.

P1 est un parcellaire perché dont l'irrigation a pu être assurée par **A1** quand il fonctionnait indépendamment du qanat

N2, N3 : nappe superficielle peu à peu drainée par lé développement du qanat.

N4 : niveau de la nappe artésienne.

FIG. 49. *Les relations entre puits,* qanat *et parcellaires.*

CONCLUSION

LA TOPARCHIE DE KYSIS

Le paysage qu'explique le géographe est l'expression des forces qui l'ont créé et modelé. Chacune d'elles modifie la topographie, résultat de systèmes morphogéniques révolus ou toujours actifs, pour y imprimer sa marque. Ces dynamiques d'origine et de puissances diverses agissent à des échelles de temps variables et avec des intensités multiples. Cette imbrication de modelés hérités et de morphogenèses agissantes ne peut être expliquée sans prendre en compte son caractère évolutif. La mise en valeur des oasis est soumise aux contraintes du milieu et aux moyens disponibles pour les surmonter. Les fluctuations des nappes d'eau (photos 204, 205), la dynamique de l'écoulement éolien ou hydrique, la qualité mésologique du paysage, l'âpreté de l'écosystème (photos 206, 207) sont autant de contraintes ou de potentialités au développement des diverses activités d'une oasis. En conséquence, la nature du paysage est l'évolution sous le jeu des dynamiques du milieu et des usages de cet environnement voulus par les sociétés.

Aussi la toparchie est-elle caractérisée à partir des facteurs qui sont à l'origine de son espace/temps : milieu-durée, territoire-crise, échelle-mobilité. Ces couples permettent d'établir, entre autres, le bilan éco-géographique, la nature des risques et les limites de son espace. De part et d'autre de cet axe s'opposent en effet l'oasis avec ses finages et ses terroirs et l'irrigation avec son danger et la menace d'abandon à tout moment.

Tableau 10. *Les facteurs de l'éco-géographie à Tell-Douch.*

Temps	Durée	Crise	Mobilité
Espace			
Milieu	Bilan éco-géographique	Irrigation	Danger
Territoire	Finage	Risque	Abandon
Échelle	Oasis	Terroir	Limites

MILIEU ET DURÉE

L'installation du paysage désertique naturel dans un cadre morphostructural hérité s'est d'abord effectuée dans des conditions climatiques et sédimentologiques optimales pour le déploiement d'un lit éolien soumis à des écoulements à l'énergie très supérieure à celle qui caractérise ceux du désert d'aujourd'hui. Au rythme des alternances entre le subhumide et l'hyperaride, la surface s'érode, les nappes aréniques s'épaississent ou se réduisent, les ruissellements débordent ou s'étiolent. Le régime éolien est désormais insuffisant pour rendre à nouveau entièrement fonctionnelle la large dépression creusée au Quaternaire par des agents différents. La transformation des conditions morphoclimatiques générales est la cause de la diminution de la capacité de transport du vent et donc de l'ensablement de cet embayment par rupture de charge. Aussi le vent façonne-t-il des formes, expression d'un nouvel équilibre entre une dynamique incapable d'ignorer les héritages des systèmes morphogéniques antérieurs et un matériel détritique aisément mobilisable. Le cycle érosion-transport-dépôt modèle une étendue où s'emboîtent des formes de plus en plus diffuses vers les limites des lits d'écoulement, mais aussi de plus en plus sensibles aux remaniements.

Ces territoires où la virulence des dynamiques naturelles est une contrainte majeure, furent le théâtre d'intérêts humains parfois rivaux. Or, quasi systématiquement, la rupture d'équilibre du milieu naturel par une action humaine sur ses dynamiques caractérise l'espace habité. Ces interventions ont modifié le système naturel en agissant sur l'un ou l'autre des éléments de l'environnement. Un seuil peut être franchi qui affecte la stabilité du milieu jusqu'à l'établissement d'un nouvel équilibre. Cet autre équilibre sera d'autant plus long et difficile à trouver que les interventions humaines sur la dynamique sont brutales et figées.

L'oasis de Kysis est donc le résultat d'héritages morphogéniques successifs et le fruit des ambitions qu'ont eu pour elle les oasiens. Si l'action de l'homme a d'abord été suffisamment discrète et progressive pour permettre à l'environnement de conserver ses caractéristiques, une certaine stabilité pour lui, avec l'accroissement des moyens dont a disposé la société antique, ses interventions ont provoqué des transformations telles que le déroulement du programme mésologique a été remis en cause.

Dans un premier temps, les autochtones exploitèrent les ressources offertes, dans un système socio-culturel en équilibre avec les dynamiques naturelles du désert. Les pressions de la société gréco-romaine ont bouleversé les modes de mise en valeur. Toutefois les limites de cette société plus dominatrice du naturel apparaissent aujourd'hui. Un nouvel équilibre entre cette société et l'environnement n'a pas été trouvé. La dépression de Kharga reste un espace sensible prompt à répondre par des évolutions mésologiques à toute intervention trop peu réfléchie.

De la sorte, les modifications de l'environnement relèvent d'une histoire naturelle qui se montre aussi instable sur la courte durée que les organisations politiques des territoires. Pour ces derniers, l'échelle de temps des phénomènes naturels qui ont une signification de crise, similaire à celle des faits culturels qui possèdent une dimension géopolitique, permet d'établir à l'éco-géographie des terroirs et des oasis un cadre chronologique comparable pour la période tardive de leur histoire. La concomitance entre les deux durées est d'autant mieux respectée que le milieu devient plus sensible.

Cette histoire a laissé des témoins. Les oasis ont accueilli des générations successives de population comme les nécropoles en témoignent, ont développé une culture spécifique touchant à l'eau, ont fait partie d'empires, ont été un domaine de relégation. Si le paysage du désert a peu reçu de ces héritages culturels, certains sites conservent les traces nombreuses de ces passés laborieux, à forte dimension symbolique ou exotique.

Le temps est aussi présent dans le maintien des parcellaires. Une histoire de leur utilisation peut être esquissée à travers la conservation des pollens. Elle montre que l'environnement a été modifié. Elle s'accorde à un changement du paysage des oasis. En conséquence, le patrimoine culturel a les dimensions d'une structure sociale, d'un mode de vie, d'un savoir faire hydraulique propre à l'œkoumène oasien. Son actuelle préservation s'accompagne de restauration et de présentation au public. Une volonté administrative définit les zones à sauvegarder des évolutions contemporaines. Entre les oasis, la mobilité du front de colonisation agricole facilite le développement de secteurs mésologiques, parfois à valeur touristique nouvelle.

Le système en place organise en fonction des énergies qui l'animent et de la structure sur laquelle il évolue, une stabilité relative nouvelle. Aussi l'histoire de la présence des hommes conduit-elle, pour ce paysage, à établir un bilan de son évolution éco-géographique.

BILAN ÉCO-GÉOGRAPHIQUE

Le bilan prend en compte le système morphogénique, la mise en valeur et leurs effets sur le milieu et le sens de l'évolution de ce secteur de désert.

Ces contrées d'ordre morphogénique se présentent non seulement comme des secteurs sensibles puisque susceptibles de modification, mais surtout comme des territoires à risques où les évolutions impliquent un coût pour la société.

TABLEAU 11. *Le bilan éco-géographique.*

	Morphogenèse	Mise en valeur	Effets des conditions mésologiques et des ouvrages d'irrigation	Évolution actuelle du paysage
Plateau	Aplanissement Déflation éolienne	Parcellaire de pente	Agriculture pluviale lors des oscillations positives	Corrasion et ensablement de transit
Piémont	Nappes détritiques Dissection	Parcellaire de lit d'oued ou de décrue. Irrigation par puits ou *qanat*	Épuisement des nappes hautes et danger des crues	Ensablement Décharges de crue d'oued
Plaine	Glaci-planation Nappes détritiques Ravines	Parcellaires sur glacis et nappes détritiques. Irrigation par puits	Abaissement des nappes devenues inaccessibles pour les puits forés de l'Antiquité	Lit d'écoulement éolien
Collines	Érosion différentielle	Parcellaires sur limon gris. Irrigation par puits et *qanat*	Épuisement des nappes hautes. Recharge impossible	Ensablement

TERRITOIRE ET CRISE

L'étendue désertique n'a-t-elle pas été aménagée parce que modifiée en territoire grâce à la maîtrise de l'écoulement ?

Les oasis de Kharga sont restées dans le milieu physique un cadre pour les activités humaines organisées par leurs sociétés. Les communautés utilisatrices et organisatrices de ces étendues participent ainsi à l'élaboration des paysages. Originellement issues du milieu naturel, les oasis sont devenues dans cet espace-temps particulier un œkoumène culturel avant d'évoluer en œkoumène rationalisé. Ainsi, le géosystème dont elles sont le support ou l'expression, transite-t-il par des états territoriaux successifs en fonction d'orientations changeantes.

Cet espace désertique a été divisé en territoires qui montrent des dispositions diverses. Selon la définition commune que l'on peut faire de leur étendue, ces territoires sont imbriqués les uns dans les autres, alors que les enjeux de chacun sont parfois contradictoires avec ceux de ses voisins. Des mosaïques complexes d'aires fonctionnelles s'y dessinent. Les paysages se sont perpétués en fonction de leurs multiples changements (fig. 50).

La mise en valeur des oasis résulte d'un jeu d'acteurs aux intérêts différents et parfois opposés à l'intérieur de périmètres étroitement intriqués. L'exploitation de l'eau répond à une pratique spécifique des villages. Les oasiens cultivent la terre, et, parmi eux, seuls les propriétaires exploitent l'eau. Les deux pratiques sont deux maillons d'une même chaîne économique et mettent en valeur des périmètres hydrauliques bien dissociés dans le cadre d'un système d'exploitation intensif. En revanche, une agriculture plus extensive exploita les sols aréniques pour des terres céréalières irrigables. Son existence est liée à l'équilibre écosystémique des nappes phréatiques. Une diminution de la fréquence des écoulements favorise en effet la progression du sable dans les terroirs.

L'élevage s'il ne représente pas une grande part de l'économie oasienne est cependant présent. Son périmètre d'extension recoupe celui de l'agriculture. Mais son activité dépend de la préservation du biotope exploité par les agriculteurs, comme l'indiquent les nombreuses espèces d'herbacées cultivées.

Les produits de l'artisanat manufacturier se diffusent le long des pistes de voyage, organisent le fonctionnement des périmètres agricoles extensifs aux marges des oasis et empruntent les itinéraires à finalité plus administrative.

Tout espace finit par être juridique et administratif. L'espace utile est divisé en parcelles et géré par des usages et des coutumes qui ont valeur de conventions acceptées. Des codes définissent des aires où chaque unité se réfère à un texte ou à un usage qui la rapproche par son application d'autres aires de nature juridique équivalente ou non. Des textes particuliers à l'initiative des individus règlent les situations exceptionnelles. Une énumération plus exhaustive illustrerait encore mieux la complexité de la gestion de l'espace par différents pouvoirs où seraient définies les parts des administrations de l'État par l'intermédiaire de la toparchie, celles des collectivités à travers l'exploitation de l'eau, comme celles de leur compétence respective pour le finage des oasis (fig. 50).

La fin des oasis peut donc provenir de toute une série de blocages introduits par la structure foncière, les intérêts divergents et rivaux, la sclérose sociale et le désintérêt administratif. L'influence de l'espace par ses étendues et ses liaisons y paraît directement impliquée.

En effet, pour un territoire, les réseaux d'échanges qui le traversent ne relient pas les mêmes sites et ne définissent pas les mêmes aires. Les pistes ont été suffisamment rares pour justifier le maintien de postes de surveillance ou de douanes, comme celui des liaisons par caravane. La tendance demeure. Les moyens modernes veulent faciliter les relations entre la Grande Vallée et son arrière-pays. Le rail, maintenant disparu, et le bitume se substituent peu à peu aux pistes précaires, moins précaires pourtant que ces nouvelles voies soumises à l'envahissement du sable. Mais les réseaux d'irrigation jouèrent semble-t-il, un rôle plus déterminant.

La géographie de cette colonisation du désert ne se fonde pas sur les relations mésologiques entretenues par les différentes unités géomorphologiques. La hamada, le piémont et l'embayment de Baris où se loge la plaine de Douch ont certes été prospectés. Mais seules les collines et leurs piémonts immédiats ont servi de cadre aux plus importantes installations hydrauliques qui ont exploité l'eau de cette contrée, située sur un territoire dont les dimensions ont pu varier dans le temps.

Pour cela l'agriculture a d'abord cherché à se fixer aux berges des oueds ou des mares. Leurs eaux dormantes ont fait partie d'un foncier de piémont, mais elles n'ont pas permis une bonification suffisante. La recherche de l'eau s'est concentrée vers les nappes souterraines captives et perchées. Le dernier stade de cette intervention a été atteint lorsque la société fut suffisamment organisée et développée pour mettre en place des équipements aux écoulements plus efficaces que ceux de la dynamique hydraulique elle-même. Cette dernière a vu ses caractères se modifier. L'écoulement est devenu moins diffus, plus concentré, jusqu'à tarir. L'abandon a été inévitable.

L'oasis, la dépression [316], peut-être à l'origine celle de la playa ou de la mare, a détaché de ses rives une agriculture qui s'en est affranchie par la technique des puits. Le jardin irrigué ne représente-t-il pas la mare originelle ou sa rive inondée, transformées et adaptées aux conditions plus arides ? Cette irrigation s'est développée autant en raison du climat que des plantes introduites (lin, légumineuses et céréales) capables de supporter ce mode de culture. Le puits artésien avec sa crue canalisable en est le vecteur le plus permanent. Juxtaposé à ce paysage traditionnel s'est implanté un autre. Il fut celui d'une campagne géométrique, aux champs irrigués et dénudés. Encore oasis par l'irrigation, mais non plus par l'ombrage de ses palmiers et de ses arbres fruitiers.

LE RISQUE

La présence de l'homme dans un milieu aussi évolutif le confronte de fait au phénomène du risque. La nécessité de ses entreprises l'amène à transformer le milieu par des équipements et à délimiter son territoire d'action par des frontières. Le risque est donc un élément de l'œkoumène.

L'espace habité s'est aventuré dans le désert. Les résidents y ont accepté l'âpreté du milieu et ils ont adapté leur mode de vie aux fluctuations de l'eau en lui confiant leurs rares biens. Mais les modelés aussi sont délimités par des fronts mouvants, selon les conditions morphoclimatiques locales et générales.

[316] C'est le sens du mot oasis.

Depuis la fin de l'optimum climatique néolithique, on peut considérer que le désert a été un système morphogénique stationnaire. Aucune de ses variables d'état ne se transforma de façon décisive. Un équilibre morphogénique s'est établi entre la dynamique éolienne et les héritages géomorphologiques de la dépression. Si les formes évoluèrent en position à travers les profils longitudinaux et transversaux de l'écoulement éolien et hydrique, leur nature reste identique. Le système désertique est un système en état de stabilité, en sorte que, pour une perturbation donnée, il tend à retrouver par le jeu de ses propres dynamiques internes une situation similaire à la précédente.

En agissant sur les dynamiques de ce système, jaillissement artésien, fluctuation des nappes, débit de l'eau, l'homme a modifié la nature stationnaire du désert, cela sur une échelle de temps courte pour les rythmes naturels. Du coup le domaine de la stabilité oasienne s'est trouvé considérablement réduit, la sensibilité de cet espace est devenu plus forte pour chaque perturbation subie.

La stabilité est donc de plus en plus menacée à mesure que croissent les interventions anthropiques qui cherchent à canaliser l'expression des dynamiques hydriques. Danger et risque sont entrés dans l'espace oasien sensible. Lorsqu'elle est possible, la réponse humaine aux phénomènes naturels est proportionnelle à leur puissance. Plus la dynamique est forte, plus les équipements cherchent à en contrôler la limite jusqu'à être inadéquats. Mais la sensibilité, c'est à dire la réaction aux variations des conditions morphodynamiques, s'accroît avec la plus grande normalisation de l'espace et la mise en place d'ouvrages qui figent et marquent les limites actives du milieu.

L'ensablement menace de son danger les écosystèmes oasiens. Ces insulaires doivent s'assurer contre les dommages capables de stériliser leurs terroirs. Pourtant, le vent, comme danger, ne s'accompagne d'aucun risque pour les sociétés humaines, au moins à très court terme. Cependant les *Barkhanes* ont submergé les parcellaires. Plaçant ses champs sur la trajectoire de leur course, car ignorante de la mobilité du danger, la société antique put difficilement prévoir et prédire le phénomène, à une échéance supérieure à celle d'une vie. L'action contre le risque en devient d'autant plus ardue.

À ces menaces s'ajoutent les menaces d'ordre technique que fait peser l'introduction d'équipements dont la concentration ou les propriétés sont de nature à perturber le système en cas de perte de leur maîtrise par les utilisateurs. En outre, pour ces milieux situés aux marges de l'œkoumène, l'eau ressource est transformée en richesse. Les oasis entrent alors dans un monde où les risques insidieux orientent leur éco-organisation (fig. 50).

Les vestiges montrent qu'une toute première s'est élaborée en fonction d'un œkoumène qu'on peut qualifier d'écologique. La phase la plus ancienne de l'occupation des sites l'illustre. Les transformations sont faibles et les aménagements discrets. Les puits artésiens actifs servent de points d'eau à des groupes mobiles dont le territoire est défini par l'usage qui en est fait. Leur espace est pragmatique.

Les puits d'oasis relèvent d'un œkoumène qu'on peut dire culturel [317], car plus attentif à la maîtrise technique de l'eau (photo 208). Il caractérise la culture traditionnelle des oasis

[317] S. Bensidoun, « Les modes d'aménagement des terroirs et le dynamisme de la civilisation de l'oasis », *AnGéo* LXXIX/431, 1970, p. 67-77.

FIG. 50. *Nature des territoires et localisation de leurs caractéristiques.*

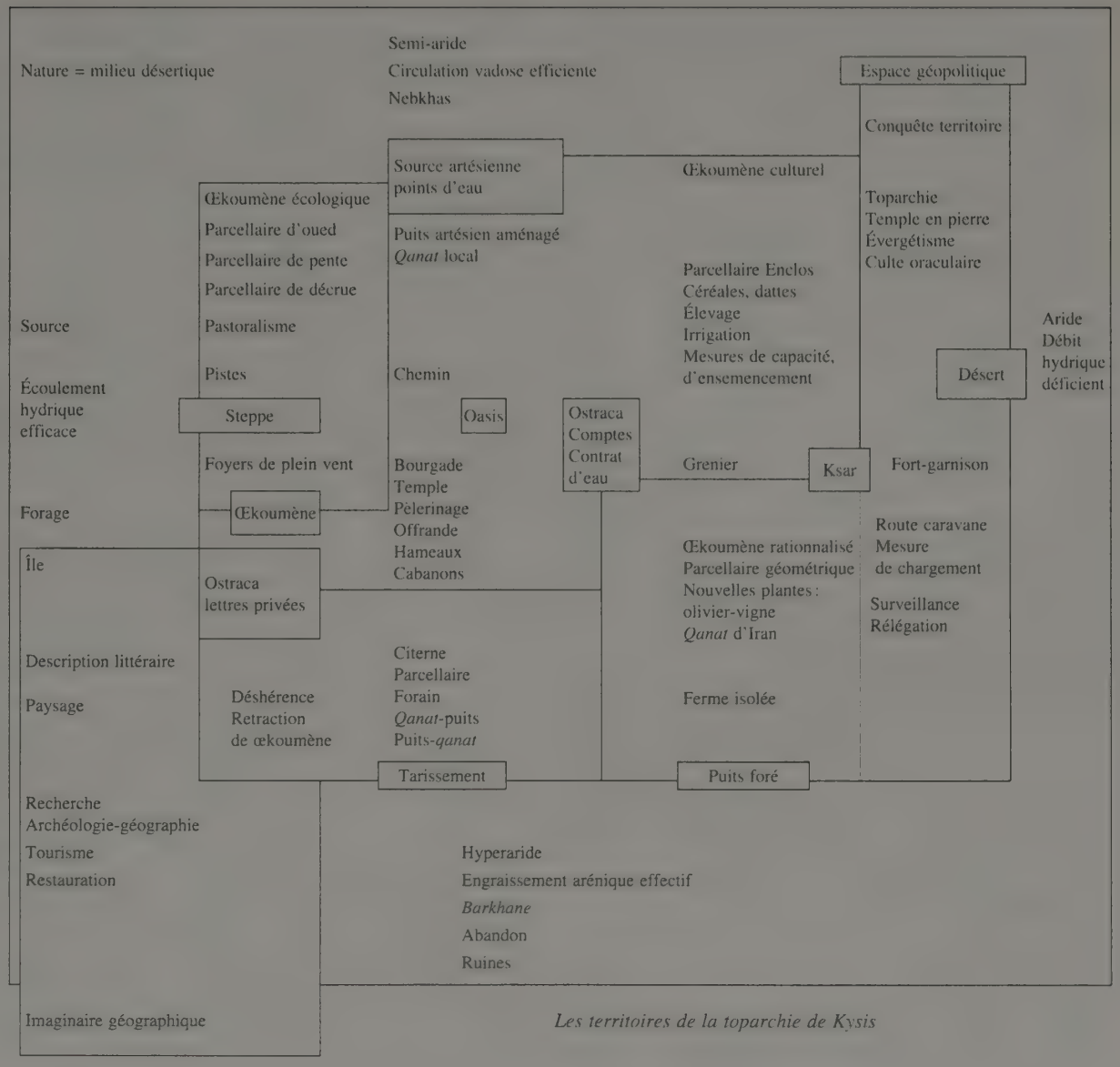
Les territoires apparaissent au cours d'une évolution qui oppose la steppe au désert et les sources artésiennes aux ouvrages hydrauliques taris. Leurs relations imbriquées obligent à situer les éléments qui les composent.

Le milieu a sa mobilité, comprise dans la longue durée de son histoire naturelle. Il implique un mode d'habitat différencié en fonction de son évolution qui va du subhumide à l'hyperaride.

L'œkoumène est représenté par l'oasis dont la succession des parcellaires établit l'implantation progressive. Elle va des efforts précoces de l'œkoumène écologique aux phases de déshérence de l'œkoumène culturel. Mais les limites en sont connues à partir de l'âge de la fondation des habitats.

Le territoire s'impose dans l'œkoumène à partir du parcellaire rationalisé. Il rend ambiguë la position du ksar qui sert autant à la conquête du désert qu'au maintien de l'œkoumène.

L'imaginaire géographique a toujours été présent, jusqu'à nos jours, par la vision portée sur ce fragment de désert. Le forage d'aujourd'hui participe à cet imaginaire en rendant l'irrigation efficace d'une façon particulièrement artificielle. Il concourt à rendre attrayante une région que menace le danger des *Barkhanes*.



Les territoires de la toparchie de Kysis

définie par le jardin ou le verger à parcellaire clos, à l'intérieur d'un territoire subdivisé par un pouvoir central.

L'usage des *qanawat* qui s'y est ajouté relève d'un œkoumène plus rationalisé, soucieux de mettre en valeur les piémonts grâce à une recherche systématique de la ressource. Il caractérise un territoire qui, à travers une administration d'Empire, doit se plier à des exigences nouvelles, telle celle d'assurer le ravitaillement de Rome, comprise comme le centre du nouvel espace-monde à la limite duquel les oasis se trouvent. Les parcellaires sans arbres en rendent compte.

Le statut territorial n'est donc pas sans orienter les aménagements multiples réalisés au sein d'un espace qui à un moment donné contenait la toparchie dont Kysis était le chef-lieu. Cette fluctuation des étendues territoriales qui servent de référence aux finages a, paradoxalement pour les oasis, l'effet déstabilisant d'une délocalisation au sein d'un monde mieux délimité. On pourrait dire que l'oasis est devenue territorialement hors site.

La transformation du système oasien induit une évolution des comportements face aux risques. L'intensification des cultures n'a été permise que par la mise en exploitation de nouveaux gisements d'eau grâce aux *qanawat* et aux citernes. De nouveaux terroirs ont été arpentés et l'agriculture destinée aux agglomérations en expansion a trouvé là des terres avantageuses. C'est donc la transformation de la société oasienne en société plus « technicienne » qui a permis et provoqué la rationalisation des oasis [318]. Développées grâce à cette irrigation plus encombrante et plus coûteuse pour l'écosystème, elles devaient donc être pleinement mises en valeur. C'est l'accroissement de la valeur en jeu qui motive l'investissement de la collectivité en des équipements plus fiables encore. Alors que l'enjeu a changé, l'évolution s'auto-entretient. Plutôt que de préserver leur valeur véritable aux finages, les moyens sont devenus responsables d'une grande part de la dégradation de la ressource. L'eau est devenue plus importante que la terre puisque les parcellaires s'étendirent sur d'autres terrains que les limons gris.

L'évaluation de la probabilité et de la gravité d'un danger et de ses effets détermine son appréhension en risque. Il est alors acceptable ou inacceptable. La région sera considérée sans risque lorsque son milieu est stable, c'est à dire lorsque la biocénose protège l'écotope. Les oasis sont des milieux stables, car la végétation entretient le sol cultivé et le protège. Si les composants de ce système ne sont pas changés, toute perturbation est rapidement effacée pour retrouver son état d'équilibre.

Lorsque la biocénose est dominée par la morphogenèse, le milieu n'est pas en état d'équilibre. Les dynamiques peuvent s'exprimer avec une fréquence élevée et parfois une force remarquable. En milieu désertique, les sites les plus sensibles sont aux limites du lit d'écoulement de l'air. Le courant éolien, les alternances d'engraissement et de démaigrissement en sable y sont responsables moins de formes que d'une zone de déshérence, c'est à dire de risque pour l'homme (photo 201).

[318] Cette technique des galeries drainantes souterraines a été transférée dans un milieu tempéré puisqu'elle caractérise le site gallo-romain de Grand (Vosges). Son utilisation sert un usage urbain et thérapeutique. Les drains soutiennent le débit d'une résurgence. Ils exploitent les fissures du calcaire local qui, comme le grès, permet la circulation vadose de l'eau.

Les modifications du territoire oasien se traduisirent donc par des perceptions différentes de celles dévolues au site, au territoire et au réseau antérieurs, donc par des significations du risque très diverses. En effet, la société oasienne selon sa nature et ses besoins y protégera des éléments différents. Chacune face à l'espace menacé par une dynamique donnée réagira différemment selon qu'elle considérera le territoire proche ou non de ses intérêts : si elle est avant tout sédentaire, le terroir est d'abord mis à l'abri ; plus marchande, les ressources sont épargnées en priorité ; dominatrice, le territoire acquis est protégé contre les risques de perte, en fonction des enjeux les plus forts.

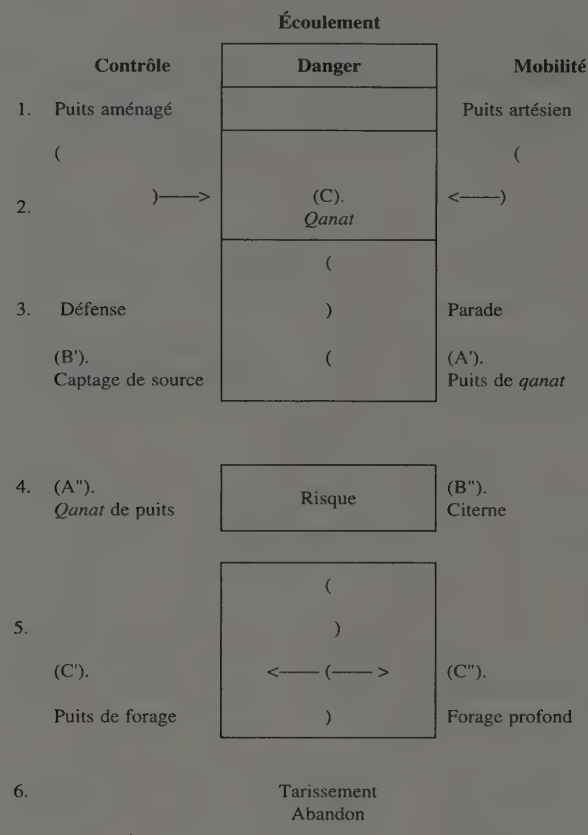
La sensibilité d'un site est également définie par la valeur en jeu, responsable ou non de la gravité d'un phénomène perturbateur. Les sites d'implantation menacés d'évoluer en secteurs d'ensablement sont donc les plus sensibles. Traditionnellement ils sont rares. Les terroirs se localisent à leur marge. Mais la poussée foncière et fiscale ou des enjeux politiques peuvent faire évoluer cette position. Les terroirs à forte valeur agronomique, potentiellement très vulnérables, au contraire des secteurs plus ingrats, sont proportionnellement sensibles au poids de cette pression dans l'économie locale ou régionale. En particulier, le développement de cultures plus spéculatives jusque dans le lit des écoulements éoliens induit un changement de la valeur en jeu. Aussi tout accroissement de la valeur d'un territoire, inséparable d'une évolution remettant en cause les entreprises humaines, comme de celle d'un espace soumis à un risque quelconque, aggrave-t-il ce risque. Ce fut le cas pour les parcellaires en piémont nord à Dikura, Aïn Ziyada et Aïn Manawir. Les équipements qui les caractérisent ont donc une localisation qui se modifie en passant de l'un à l'autre.

Ainsi le risque apparaît-il au croisement du territoire et du réseau, du passage de celui de l'eau à celui des marchandises et des routes, qui animent le pays des oasis et qu'expliquent les différentes mesures de capacité et de charges relevées dans les *ostraca*.

On en conclut que l'éco-organisation des terroirs est placée sous la dépendance d'un régime incertain depuis l'installation des *qanawat*. Il apparaît en effet que le contrôle s'appuie sur le système phréatique, que définissent les différents types de réservoir. L'histoire des oasis le prouve. En revanche, la mobilité du flux hydrique s'établit sur la fissuration du substrat qu'utilise la galerie drainante ou la descente du forage. La déshérence des oasis le confirme. Le *qanat* est l'ouvrage de l'instabilité pour l'œkoumène. Le puits est son contraire et vise à stabiliser l'aménagement réalisé autour des points d'eau. Le puits exploite un point alors que le *qanat* draine un volume. Le territoire mis sous la dépendance de l'un ou de l'autre de ces équipements n'est donc pas de même ampleur.

De la sorte, on perçoit mieux les relations qui s'établissent entre les puits et les *qanawat* (fig. 49). La migration des puits vers la plaine est liée à une permanence du contrôle malgré la mobilité historique de l'installation. En revanche, les *qanawat* ne peuvent exploiter que la zone supérieure des nappes hydriques. La multiplication des galeries se réalise dans le temps mais au même niveau d'exploitation, et affecte ainsi une superficie de plus en plus vaste. Le puits, l'installation spatialement la plus mobile et la plus étroite, cherche à accroître la stabilité des terroirs. Le *qanat*, l'ouvrage architecturalement le plus étendu et le plus stable, introduit dans les finages une instabilité croissante et se révèle, hydrogéologiquement parlant, l'équipement le plus transitoire ou le plus éphémère. On

TABLEAU 12. *Localisation des installations hydrauliques dans le territoire de Kysis devenu un espace de danger.*



Commentaire

Les différentes installations hydrauliques bien que participant à des fonctions semblables ne conservent pas la même signification, selon l'évolution dont elles relèvent.

Le sens général de l'évolution du flux hydrique est d'aller vers une plus grande instabilité, de l'écoulement au tarissement. Le premier niveau se partage entre la mobilité que représente le puits artésien naturel et le contrôle exercé par la société que traduit le puits aménagé. Dans une zone de recoupement qui définit le domaine du danger, l'installation des *qanawat* relève à la fois de la mobilité naturelle et du contrôle de la société. Elle introduit le risque dans les finages. L'amplification du risque conduit à l'abandon. La tendance (C) bifurque et conduit vers le puits de forage (C') ou vers le forage profond (C"), en raison de la mobilité des nappes et du degré technique atteint (niveau 5). Mais cette évolution est elle-même recoupée par deux axes transversaux (A et B et leurs niveaux liés 3 et 4). L'axe (A) est celui de la parade. D'abord à partir du puits de *qanat* (A'), l'action conduit vers le *qanat* de puits (A") compris comme un réservoir qui fait passer de la mobilité au contrôle. L'axe (B) a une signification de défense. Il conduit du captage de source (B') à la citerne (B"), et fait ainsi passer paradoxalement du contrôle statique du flux à sa capture dynamique.

Conséquences de cette évolution historique, se dégagent deux séries d'équipements en fonction de l'objectif visé. Afin de contrôler l'eau, la première associe le puits aménagé, le captage de source, le *qanat* de puits et le puits foré. Ce contrôle s'exerce par un ouvrage, la galerie ou la saignée, et par une intervention technique qui s'efforce d'accéder directement à la nappe (sens de l'évolution architectonique de la saignée). Pour accompagner la mobilité de l'eau, la seconde, plus hétérogène en apparence combine la source artésienne, le puits de *qanat*, la citerne et le forage profond (sens de l'évolution morphologique du réservoir). La mobilité du flux hydrique impose comme forme de réservoir le cratère du puits artésien, mais aussi sa cheminée qui appelle par la dynamique qu'il traduit celle du forage.

constate que les deux séries aboutissent à deux types de puits forés que seule leur profondeur, fonction de la technique utilisée, distingue dans le temps.

La monumentalité du système s'inscrit différemment dans la durée. L'utilisation du réseau des *qanawat* fut brève. L'usage des puits se poursuit. La vocation des ouvrages à durer, hors des conditions inégalement favorables de leur conservation, dépend surtout des conditions de son énonciation. Le *qanat* est une réponse ponctuelle à un problème localisé, le puits est un équipement reproductible en de multiples circonstances. Pour les oasis, le clivage *qanat*/puits ne définit pas une histoire successive, ni un usage particulier, mais une situation éco-géographique. Leur utilisation relève d'un choix et d'une décision. Leur valeur est de rendre à la réalité une étendue aussi insaisissable que la mer.

ÉCHELLE ET MOBILITÉ

Dans ces conditions, toute oasis présente des dimensions modifiables. Pour Kysis, deux éléments en rendent compte : le développement d'une hydraulique complexe à l'échelle des parcelles et, à l'échelle des finages, des références territoriales divergentes. L'abandon des sites est le résultat sur le demi-millénaire de la modification de ces échelles. Pour les parcelles, le temps d'irrigation s'allonge ; pour les finages les étendues se rétractent. L'origine diffère. L'une est d'ordre naturel, l'autre de causalité anthropique. Mais les échelles du temps et de l'espace restent impliquées. Leurs modifications se réalisent dans un même lieu, une interface mésologique utilisée comme limite d'Empire.

L'irrigation par *qanat* peut être comprise comme une incitation au changement lequel peut être lié à un calcul économique et à un effort d'unir des contrées séparées. Elle a porté encore plus loin dans le désert les parcellaires d'un hydrofoncier soumis de plus en plus à l'innovation technique, même si la diminution de la ressource peut s'expliquer dans un second temps par la prolifération des ouvrages. L'introduction de nouvelles plantes capables elles aussi de supporter l'irrigation, coton, vigne et olivier, explique le succès de cet équipement. L'existence d'un milieu humain réceptif avec ses géomètres, ses hydrauliciens, peut-être fossoyeurs à l'origine, le permit sans doute. L'oasis s'établit en effet dans un désert au nomadisme absent. Elle relève d'un monde de sédentaires qui se sont adaptés aux excès d'un climat sec. Les *qanawat* furent alors la réponse, illusoire à terme, pour faire face à une double mobilité, celle de l'amplification de la sécheresse édaphique et celle de la croissance de la population des oasis.

Au cours de la phase principale d'occupation, on assiste à l'intégration territoriale des oasis, bien qu'elles soient comparées à des îles. Le désert fut un espace de conquête et son désir, un imaginaire géographique, pour l'Empire romain [319]. En effet, l'élaboration des relations qui lient milieu naturel et site aménagé, intérêts et risques, se réalisa, sur la durée, à travers des situations territoriales différentes. Les terroirs primitifs intégrés à une

[319] Cl. Nicolet, *L'inventaire du monde. Géographie et politique aux origines de l'Empire romain*, Paris Fayard, 1988, p. 97 sq.

plus vaste organisation de l'espace eurent à répondre à des sollicitations qui se montrèrent pour eux dommageables. Aussi le territoire oasien eut-il à subir, dans un second temps, les effets que produisirent les fluctuations des limites des régions, à l'intérieur de l'Empire romain. Le changement d'échelle est ici d'ordre culturel. La situation et la nature des territoires jouent donc un rôle. Aux paysages expliqués par les conditions du milieu, il faut superposer une géographie dont le cadre spatial politiquement reconnu devient le principe d'organisation de ses limites. L'évolution de l'aire culturelle des *Oasis d'Égypte à l'époque grecque, romaine et byzantine* s'explique autant à partir de cette géographie des territoires et de son histoire qu'à partir des modifications ou des changements radicaux imposés au milieu par l'œkoumène. La considération de ces diverses mobilités comme caractère déterminant du géosystème introduit à nouveau la description du paysage d'un espace et de ses limites dans la démarche géographique.

LIMITES

Des usages différents de l'étendue désertique commandent en effet les paysages. Le désert sépare de la vallée du Nil cette autre vallée sans écoulement, hors ceux du vent et du sable. Aussi la dépression de Kharga fut-elle tour à tour front pionnier, frontière d'œkoumène et axe d'échanges. Son paysage changeait, en outre, au fur et à mesure que se transformaient l'état et la nature de la surface de l'embayment.

La Grande Vallée est un milieu naturel où le rôle morphogénique de l'homme est peu perceptible, bien que localisé étroitement. La dépression de Kharga en subit cependant les effets par sa position à l'interface de trois éléments, l'air, l'eau et la terre. L'eau mesurée est à puiser dans la roche, la terre arable est à protéger pour ne pas redevenir poussière de vent, car la violence de l'air détruit et assèche. Cette mobilité fondée sur une série de continuités et de ruptures est un caractère essentiel d'ordre écosystémique. La question se pose à la fois autant à propos du milieu lui-même que de sa mise en valeur. Ce front de nature sera changé en limite d'œkoumène sans atteindre au stade d'une frontière géopolitique.

Le contact atmosphère-lithosphère est le lieu géométrique où vont s'exprimer les entreprises humaines. Par son action sur la couverture végétale, la société modifie la nature même de la biocénose, mais également le modelé sur lequel elle repose. Elle peut favoriser des modes d'érosion plus diffus telles que l'érosion aréolaire et surtout la déflation éolienne. Par l'écoulement éolien, des énergies s'expriment et régissent le façonnement et l'évolution des finages qu'ont élaborés les oasiens.

L'interface lithosphère-hydrosphère stipule pour l'homme des moyens plus puissants, car l'environnement y est encore plus contraignant. Son caractère est d'être une limite mobile, difficilement contrôlable et de façon peu prévisible. Il est donc perçu comme une entrave au développement des communautés oasiennes. Au cours de l'histoire, le projet de ces groupes isolés a consisté à maîtriser le flux hydrique et son écoulement artésien.

L'institution des réseaux d'irrigation signifie que cette pratique put se développer grâce à une légère modification de la limite mésologique. Un milieu aride et non plus hyperaride

rendit l'abord du désert plus facile aux expéditions de l'Ancien Monde. Sur le demi-millénaire de l'occupation, il apparaît qu'une fluctuation de cette limite modifia à nouveau les conditions. Des insuffisances hydrogéologiques signalent la dégradation. Le puits alimenté par des *qanawat* en est la traduction. Cette adaptation technique indique l'intrusion d'un désordre qui a pour conséquence l'abandon d'une partie des sites. L'occupation se maintint sur les parcellaires irrigués par les seuls puits de plaine. Le changement d'échelle est zonal puisque la limite mésologique en est le lieu.

À cette limite, les points d'eau demeurent en effet les lieux privilégiés, où l'homme organise à son bénéfice les échanges. De point, l'oasis qui offre son ombre devient une étendue et une halte sur des pistes qui mènent à la mer ou à l'intérieur du continent. Elle reste de ce fait marquée de l'empreinte de chacune des sociétés qui s'y est installée au cours de l'histoire. Les *ksars* antiques en deviennent l'expression la plus ancienne, à côté des postes de douanes ottomanes et des villages tassés actuels que maintiennent sur place les forages profonds.

À Tell-Douch, l'évaluation rétrospective du danger reste le facteur déterminant pour établir l'inventaire des limites de cette fraction du monde. Le danger éolien aux limites incertaines y est devenu un risque pour l'œkoumène, lorsque ses propres limites de nature ont été affrontées à celles, stables, d'un hydrofoncier rendu inerte par son équipement hydraulique. À cette première raison s'ajoute la multiplication des limites qu'impose la superposition de territoires d'échelles différentes. Le *ksar* en dévoile l'ambiguïté par ses fonctions soumises à des échelles territoriales diverses. Au service d'objectifs multiples, ces étendues ont entraîné une dégradation du milieu et l'abandon des sites. Le territoire de la toparchie est devenu un espace de danger pour les oasis. Le risque devint irréversible lorsque sa gravité l'emporta sur sa probabilité et lorsque les ouvrages hydrauliques ne purent réduire cette dernière, ni faire décroître la menace grave et inéluctable d'un épuisement des nappes.

À l'intérieur du territoire de Kysis, la durée présente différentes échelles qui imposent des limitations. La toparchie est ainsi fractionnée en unités temporelles diversifiées. On explique l'abandon de la contrée par la conjugaison des événements qui à un moment donné accélérèrent la durée de son propre temps. Le climat est marqué par des oscillations saisies à l'échelle du demi-millénaire et par des événements brefs, les crues des oueds. Il dépend du dispositif des masses d'air soumise à des contraintes astronomiques capables d'introduire des situations de catastrophe à l'effet amplifié pour l'œkoumène. Le temps géologique est pris lui-même entre le séisme bref et destructeur et la longue durée tectonique instaurant un champ de contraintes à régime extensif, lequel explique l'écoulement de l'eau, la capture des nappes et pour finir la variation de leur débit. Enfin le temps social associe à la volonté d'implanter et de maintenir des sites dans le désert la menace qui est liée à l'extension des réseaux de *qanawat*. Pour l'œkoumène, l'événement bref, de quelque origine qu'il soit, transforme en risque le danger lié aux évolutions progressives introduites par l'histoire lente du milieu géographique.

À l'intérieur d'un milieu instable, cette marge d'œkoumène qui fut d'Empire, s'est révélée être une limite pour les oasis qui s'épuisèrent, par des ramifications souterraines, à soutirer l'eau du désert.

GLOSSAIRE
DES TERMES GÉOGRAPHIQUES

A

Aggradation. Une surface plane d'accumulation continentale est dite d'aggradation.

Aléa. Menace potentielle pour les personnes et les biens dans un secteur précis et pour un temps donné.

Altérites. Résultat en place de l'attaque d'une roche par les processus élémentaires de l'érosion.

Anaclinal. Toute forme, un ravin, une vallée, qui s'oriente en sens inverse du pendage des strates est dite anaclinale.

Angle de faille. Dépression dont la géométrie des pentes est déterminée par l'angle du plan de faille avec un autre plan oblique ou horizontal.

Anticlinal. Déformation d'une strate ou d'un ensemble de couches aboutissant à une forme aux pendages divergents de part et d'autre d'une charnière de ploiement.

Aplanissement. Action et résultat des processus tendant à réduire par érosion les reliefs et à les amener à l'état de surface plane. Un aplanissement généralisé à l'échelle régionale est dit **surface d'aplanissement ou d'érosion**.

B

Barkhane. Dune libre et mobile en croissant à convexité tournée face au vent.

Billon. Bourrelet allongé formé par le rejet l'une sur l'autre des bandes de terre du sillon soulevées par la houe ou la charrue. Ce bourrelet permet d'éviter l'excès d'eau.

Biocénose. Ensemble des populations d'espèces animales et végétales vivant dans un milieu naturel déterminé.

Boutonnière. Dôme dont la voûte déblayée par l'érosion se présente sous l'aspect d'une dépression en forme d'ellipse semblable à une boutonnière.

C

Charge. Ensemble des particules solides transportées par un fluide, cours d'eau ou flux éolien.

Chevron. Saillie rocheuse de forme triangulaire à pointe dirigée vers le sommet de la pente.

Colluvion, (adj. **colluvial**). Dépôt généralement fin mis en place sur la section inférieure d'un versant principalement par le ruissellement diffus ou la descente lente du matériel (**creep**). Le colluvionnement explique la convexité inférieure de nombreux versants. Le transport du matériel de ce dépôt est réalisé sur une courte distance.

Compétence. Elle est matérialisée par la taille maximum des particules qu'un cours d'eau ou un flux éolien peuvent entraîner par roulement, saltation, traction sur la surface subissant l'écoulement.

Corrasion. Érosion des roches compactes provoquée par le passage à leur surface des grains durs poussés par le vent. Elle explique les faces lustrées et striées qui les enveloppent.

Cryoclastie. Fragmentation d'une roche par le gel de l'eau située dans ses fissures ou ses pores.

D

Daya. Dépression fermée à fond argileux ou argilo-sableux. Dérivée de cuvette de déflation, elle peut contenir une mare d'eau.

Décrochement. Déplacement latéral de deux blocs de part et d'autre d'un accident tectonique. Le mouvement est dit **dextre** ou **senestre** selon que le bloc à la droite ou à la gauche de l'observateur placé sur la ligne de rupture se déplace vers lui. Il peut être accompagné d'un rapprochement des blocs (**compression**) ou de leur éloignement (**distension**). Ces mouvements peuvent s'accompagner d'une rotation des blocs qui se traduit par la déformation des strates (**crochon de faille**).

Déflation. Arrachage par le vent de particules à la surface de matériaux meubles et secs. Une déflation sélective s'appelle un **vannage** ; elle exporte ou balaie les éléments les plus fins, laissant au sol les fragments dépassant la compétence du vent, lesquels constituent un reg.

Déformation gauche. Ploiement des couches ou d'un volume topographique selon un **rayon de courbure** à flèche inégalement longue.

Dépôts corrélatifs. Chaque type de formations superficielles résulte de l'activité d'un agent d'érosion ou de transport. Le lœss est le dépôt corrélatif de l'érosion éolienne. La nappe alluviale est celui du transport fluvial. Ils aident à définir l'histoire géomorphologique des lieux.

Désagrégation. Séparation par fragmentation des éléments d'une roche constituée par des minéraux différents, tel le grès. Les débris forment un sable ou une arène mobilisables.

Desquamation. Enlèvement à la surface d'une roche compacte d'écailles d'une épaisseur de quelques centimètres et d'une surface de quelques décimètres carrés.

Désertification. Apparition d'un paysage de désert (dune, prépondérance des processus éoliens, ruissellement en nappe ou ravinement, destruction et disparition du couvert végétal) à la suite de la mise en valeur ou de l'exploitation d'une région sèche mais non désertique.

Désertisation. Développement du système morphogénique propre au désert par transformation des conditions climatiques à l'échelle planétaire. Elle se traduit par un déplacement des limites bioclimatiques des marges du désert.

Diaclase. Fissure dans la roche sans dénivellation de ses lèvres et à l'ouverture faible.

Discordance. Discontinuité dans une série stratigraphique se marquant par une lacune sédimentaire liée à une interruption inégalement prolongée d'apports de matériel que suit un dépôt de sédiments nouveaux dont les strates peuvent former un angle avec les précédents.

Dyke de faille. Le long de la ligne de faille, le faciès induré par le mouvement tectonique est mis en relief par érosion des formations encaissantes plus tendres. Il forme une échine topographique ayant l'aspect d'un mur inégalement large, long et rectiligne. Il peut correspondre également à un remplissage cimenté d'un matériel piégé par la fissure tectonique.

E

Éco-géographie. Approche qui prend en compte les relations établies entre les facteurs écologiques d'un milieu et les agents économiques d'une société, afin de déterminer les conditions d'occupation géographiques des lieux.

Écosystème. Unité élémentaire de la biosphère affectée par les cycles des éléments qui composent le milieu naturel.

Écotope. Unité topographique à laquelle est adaptée une espèce animale ou végétale.

Édaphique. Caractères dépendant de la nature physique et chimique du sol (limon/argile/sable, teneur en eau, etc).

Égueulement. Action (et résultat) d'ouvrir une brèche à travers un cône de matériel construit, liée à une dynamique de type éruptif.

Éluvial. Terme qui désigne l'horizon pédologique supérieur dit A où se réalise l'entraînement (lessivage) des particules du sol.

Embayment. Partie rentrante dans le relief au débouché d'une vallée ou d'un ravin d'une surface d'érosion locale à pente comprise entre 1 et 7 %.

Engraissement. Augmentation de l'épaisseur des dépôts sableux par des apports éoliens ou ruisselés successifs.

Environnement. Les éléments de la nature qui influencent l'occupant d'un lieu et sa façon d'habiter.

Épandage. Étalement des alluvions avec constitution corrélative d'une **plaine alluviale** sous l'effet des divagations des cours d'eau à forte charge tels les oueds débouchant du relief.

Épicentre de séisme. L'épicentre est le point qui, à la surface du sol, se situe à la verticale du **foyer sismique**. Le foyer est le point où l'écorce terrestre se rompt. Les ondes de choc dues à la rupture se propagent en vibrant et en déclenchant un tremblement de terre.

F

Faciès. Ensemble de caractères pétrographiques définissant un dépôt ou une roche. Les modifications des faciès à l'intérieur d'une même couche peuvent relever d'une évolution de la sédimentation dans l'espace. On parle alors de **passage latéral de faciès**.

Faille. Cassure accompagnée d'un mouvement relatif des deux compartiments qu'elle détermine dans les terrains qu'elle affecte. La **ligne de faille** est la trace du plan de faille sur la surface topographique. Le **plan de faille** est la surface le long de laquelle sont effectués les glissements généralement verticaux des deux compartiments qu'il sépare. Le plan s'appelle un **miroir de faille ou scarplet**. L'ampleur du déplacement détermine le **rejet de la faille**. Le **regard d'une faille** est défini par le compartiment affaissé vers lequel il est toujours orienté. L'**escarpement de faille** doit l'origine de sa dénivellation directement au mouvement tectonique. L'**escarpement de ligne de faille** doit sa dénivellation au dégagement des roches tendres, une fois l'abrupt tectonique aplani. Le mouvement tectonique déforme les couches par torsion. Le résultat est désigné par l'expression **crochon de faille**. Les **fentes pennées** sont des fissures ouvertes dans la roche et disposées par rapport à l'accident principal comme les barbes d'une plume. Les **fentes de tension** déterminées par les contraintes tectoniques qui affectent la roche sont des ouvertures atteignant des degrés différents de béance. Les **failles antithétiques** sont disposées sub-perpendiculairement à l'accident principal ; elles sont d'un rejet moins important que celui des **failles synthétiques** parallèles à l'accident majeur. Les accidents tectoniques s'assemblent en réseaux à l'intérieur desquels certaines directions présentent des valeurs d'angle complémentaires (**système conjugué de Riedel**). Il en résulte un découpage ordonné en blocs de taille différente.

Finage. Territoire possédé par un village et, par glissement de sens, l'étendue agricole exploitée par la communauté villageoise.

Flexure. Accident tectonique se traduisant par le passage d'un pendage faible à un pendage fort, s'accompagnant d'un étirement et d'un amincissement sans rupture des couches.

Floculation. Formation d'agrégats dans une suspension de particules colloïdales sous l'influence d'électrolytes.

Foggara. Nom arabe désignant en Algérie (Touat, Gourara, Tikelt) une canalisation souterraine reliée à la surface par des puits pour l'entretien et servant à l'irrigation (équivalent algérien du mot marocain **khettara** [Haouz, Sud marocain]). **Qanat** est le mot d'origine iranienne équivalent.

Formation superficielle. Matériaux meubles ou ultérieurement consolidés recouvrant la roche en place et supportant le cas échéant le sol. On parle de **couverture** quand la formation est épaisse, de **nappe** quand elle est mince, de **dépôt** quand il y a eu transport.

Front de côte ou de cuesta. Escarpement composé d'une **corniche** en roche dure (RD) et d'un **talus** en roche tendre (RT). Le pendage des couches est compris entre 5° et 15°.

G

Géographie. Étude de l'organisation et du fonctionnement du ou des territoires, fondée à la fois sur une analyse structurale et fonctionnelle. Diversité des représentations et changement des échelles sont ses outils.

Glacis. Étendue plane légèrement inclinée (1 à 7 %), due au travail de l'érosion par diffusion latérale du ruissellement. La forme est élaborée dans des roches tendres.

Géosystème. Un des éléments qui, par son échelle inférieure à celle de la région naturelle, définit un aspect du paysage : par exemple, l'oasis d'un désert, résultat d'une combinaison dynamique d'éléments naturels et humains. Par glissement, le sens du mot peut être élargi à l'ensemble de la planète comme équivalent de l'expression système-Terre.

Gley. Horizon d'engorgement par l'eau. Cet horizon pédologique est caractérisé par des teintes grises, verdâtres ou bleutées, en raison de la prépondérance des phénomènes de réduction sur ceux de l'oxydation qui se traduisent en revanche par des teintes rouges.

H

Haloclastie. Fragmentation mécanique de la roche par la croissance des sels situés dans les fissures.

Halomorphe. Sol caractérisé par la présence de sel généralement de sodium.

Hamada. Plateau rocheux à la surface peu inclinée dans les régions désertiques.

Hydragogue. Désigne l'équipement qui conduit l'eau de son lieu de captage jusqu'à la surface des parcelles. Sous la forme d'une rigole incisée à la surface du terrain ou excavée dans la roche, d'un conduit construit en céramique, à l'air libre ou souterrain, ou d'un chenal en berceau bordé de bourrelets d'excavation, l'ouvrage diffère de l'aqueduc à l'air libre, construit en chaussée sur les pentes. Le mot est utilisé dans les textes antiques ainsi qu'**hydreuma** compris alors comme un point d'eau, ou puits ou *qanat* dans le cas des oasis du désert libyque.

Hydromorphe. Caractère d'un sol ou d'un horizon dû à la présence temporaire ou permanente de l'eau.

Hydromorphie. Caractère et situation des sols provoqués par la présence des nappes profondes ou perchées. Cette évolution est caractérisée par un déficit d'aération et des phénomènes de réduction.

I

Illuvial. Terme qui désigne l'horizon (dit B) d'accumulation ou illuvial d'un sol, affecté par les processus d'accumulation de substances solubles ou colloïdales.

Imaginaire géographique. Représentation mentale suscitée par la description des lieux lointains et en conséquence le désir de les connaître, d'y résider ou de les aménager.

Inselberg. Relief en relation avec le développement d'un modelé caractérisé par l'extension des glacis à leur pied. Quand son volume correspond à une roche dure, il est dit de dureté. Quand il se situe par évolution à l'écart de toute atteinte de l'érosion, il est dit de position.

Inféroflux. Écoulement qui se produit sous un cours d'eau à travers les alluvions du fond du lit. Le sous-écoulement se produit alors même que le cours d'eau est tari.

Interfluve. Partie haute inégalement large comprise entre deux incisions linéaires (vallée, ravin).

Inversion de relief ou relief inversé. Renversement de données dans l'évolution du relief ou d'une forme par rapport à la disposition initiale commandée par la structure ou la morphogenèse. Le résultat de cette évolution peut être qualifié par l'expression : **relief inversé ou forme inversée**.

K

Ksar. Lieu fortifié en Afrique du Nord.

L

Lave torrentielle. Dépôt boueux hétérométrique laissé en fin de crue par un écoulement torrentiel dans un chenal d'écoulement ou sur un cône de déjection.

Linéament. Ruptures de l'écorce terrestre et ses traces au sol groupées en faisceau.

Lunette. Sous le vent d'une sebkha, le sable parfois gypseux ou salin s'accumule en bourrelet dit lunette à forme en croissant.

M

Mésologique. Adjectif du mot milieu. Le terme proposé par Louis Adolphe Bertillon (1821-1883) désignait une approche où l'écologique s'associait au culturel.

Météorisation (adj. **météorique**). Ameublissement des roches résistantes par fragmentation ou par altération par les agents climatiques agissant à l'échelle des constituants des **faciès** de la roche. La météorisation correspond à la phase initiale définie par l'ensemble des **processus dits initiaux** (comme l'**haloclastie**) parce qu'à l'origine du développement des modelés.

Milieu naturel. Ensemble des éléments de la nature pour un lieu.

Modelé. Ensemble des formes de la surface de la terre dont la définition fait appel à un agent (l'eau) ou à un processus d'érosion (gel). La combinaison des processus spécifiques d'un milieu bioclimatique tel le désert est nommé **système d'érosion** ou **système morphogénique**.

Monde. Période de l'histoire du géosystème formé par l'ensemble des régions en interaction.

Morphogenèse. Création ou évolution des formes de la surface de la terre sous l'action des forces endogènes ou exogènes (dites **agents d'érosion**).

Mouna. Torchis fin étendu sur les murs ou servant de liant entre les briques crues.

N

Nappe aquifère ou aquifère. Nappe d'eau souterraine :
– soit libre et comprise dans un terrain qui reçoit l'eau d'infiltration par toute sa surface. C'est le cas des nappes phréatiques atteintes par les puits. Ces nappes peuvent être perchées à flanc de versant et alimenter des sources ;
– soit captive car recouverte par un terrain imperméable qui la maintient sous pression, et jaillissante ou artésienne si un conduit naturel ou artificiel lui permet d'accéder à l'air libre.

Nature. Domaine où s'exercent les forces physiques terrestres.

Nebka ou nebkha. Accumulation de sable sous le vent d'une plante.

Niveau de base. Lieu d'égale altitude où aboutissent les cours d'eau. **Niveau de base local** : hauteur d'une plaine d'épandage dans le cas d'écoulement temporaire en climat aride. **Niveau de base interne** : niveau de concentration de l'eau amenée par infiltration ou percolation à travers la roche mais arrêtée par un barrage dû à un compartiment imperméable situé à l'aval de l'écoulement, à l'intérieur de la roche.

O

Obséquent. Incision sur le front de côte ou cuesta recoupant de son entaille le rebord de la corniche.

Œkoumène. La partie du milieu naturel habitée et mise en valeur par les sociétés humaines.

P

Patine ou vernis. Enduit minéral résistant à la surface de roche dénudée. Les patines sont souvent noires et brillantes, riches en sels de fer et de manganèse.

Paysage. Au sens restreint du terme, il traduit la dynamique du milieu et l'image qu'elle suscite.

Pendage. Obliquité d'une couche acquise par déformation tectonique.

Pixel. (vient de **[pic]ture [el]ement**) Unité élémentaire d'information de surface sur une image de satellite. Un pixel du satellite SPOT correspond théoriquement à 10 ou 20 m au sol selon les capteurs.

Playa. Plaine d'épandage de matériel ou de substances à l'aval d'un glacis fonctionnel.

Pseudo-gley. Horizon d'un sol à engorgement périodique présentant des alternances de zones grises ou ocres puisque alternent les phénomènes de réduction et d'oxydation.

R

Reg. Concentration à la surface de cailloux dont les faces sont marquées par la déflation éolienne dans les milieux arides.

Régolite. Formation superficielle résultant de la fragmentation d'une roche massive et reposant sur des pentes peu inclinées.

Relief. Forme dont le profil et le volume font appel au dispositif structural défini par les roches et leurs déformations tectoniques (**structure**).

Replat structural. Portion de versant horizontale correspondant à la surface d'une couche dure.

Reptation. Mouvement superficiel et lent du manteau de débris à la surface d'une pente.

Ripple-marks. Rides successives de faible hauteur que le vent ou l'eau modèlent à la surface des étendues sableuses (plage, pente de dune ou surface des nappes sableuses).

Risque naturel. Péril à caractère accidentel engendré par un aléa et menaçant un secteur donné de l'œkoumène, sa population et ses aménagements.

S

Sebkha. Dépression fermée, dépourvue de végétation, caractérisée par des efflorescences salines en périodes sèches ; inondable par les eaux de crue ou les remontées d'eau souterraines en saison pluvieuse.

Sensibilité. Évaluation de la réponse d'un site face aux aléas de la dynamique du milieu naturel.

Sif. Dune vive allongée, au tracé sinueux et à crête aiguë.

Siffle-vent. Échancrure en demi-cône à axe horizontal ouverte par le vent à l'angle d'une rupture de pente affectant un matériel sensible à la corrasion.

Spatiocarte. Représentation et localisation des phénomènes étudiés par traitement d'images fournies par un satellite.

Structure. Organisation des roches dans l'écorce terrestre. **Morpho-structure** : relief dont les volumes et les profils s'expliquent directement par la lithologie et les déformations tectoniques.

Subsidence. Enfoncement progressif du fond d'un bassin ou d'un fossé parallèlement à la sédimentation qui s'y produit.

Synclinal. Ondulation aux pendages convergents.

Système. Ensemble organisé d'éléments et d'interactions entre les éléments.

T

Talus de coteau. Escarpement composé d'une corniche en roche dure (RD) et d'un talus en roche tendre (RT). Les pendages des strates sont toujours inférieurs à 5°, ce qui le différencie d'un front de côte ou de cuesta.

Tectonique. Dispositif géométrique des strates (pendage) et mouvements (faillage, plissement) donnant naissance aux structures.

Terminaison périanticlinale. Extrémité d'une déformation anticlinale disparaissant progressivement à la suite de l'abaissement de l'axe de l'anticlinal.

Terrasse fluviale ou alluviale. Étendue plane dans le fond d'une vallée, au-dessus du lit d'écoulement, représentant un lit ancien abandonné par suite de l'enfoncement du cours d'eau.

Territoire. Étendue où s'établit le rapport d'une formation sociale avec le milieu actuel, les héritages mésologiques et son patrimoine (éco)-géographique.

Tertre phytogénique. Monticule dû à un matériel poussé par le vent, piégé par la végétation, en particulier autour d'un puits artésien.

Thermoclastie. Fragmentation de la roche sous l'effet des températures différentes successives s'exerçant à sa surface.

V

Vadose. Circulation hydrologique interne des roches qui se réalise par les fissures qui découpent le volume lithologique.

Vulnérabilité. Évaluation des dommages potentiels.

Y

Yardang. Butte allongée séparée par un sillon, profilée par le vent à l'aide des grains durs qu'il charrie, aux dépens des matériaux peu résistants.

BIBLIOGRAPHIE

SIGLES DES REVUES CITÉES DANS LES NOTES

AnGeo	*Annales de Géographie* (Paris).
Ann.Geol	*Surv.Egy,* Annals of Geology and Survey of Egypt (Le Caire).
AntAfr	*Antiquités africaines.* Centre nat. de la rech. scient. (Paris).
BAGF	Bulletin Association de Géographes Français (Paris).
BiEtud ou *BdE*	*Bibliothèque d'Étude.* Inst. franç. d'archéol. orient. (Le Caire).
BSGE	*Bulletin de la Société de Géographie de l'Égypte* (Le Caire).
BSGF	*Bulletin de la Société géologique de France* (Paris).
Bull SFAC	Bulletin de la Société française des Antiquités classiques.
CRAIBL	*Comptes rendus de l'Académie des inscriptions et belles-lettres* (Paris).
CRAS	*Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (Paris).
GeoJourn	*Geographical Journal.* Geogr. Soc. (Londres).
JEA	*Journal of Egyptian Archaelogy.* Egypt Explor. Soc. (Londres).
RGA	Revue de Géographie alpine (Grenoble).
RGD	Revue de Géomorphologie Dynamique (Paris).
ScGéolBull	Science, Géologie, Bulletin (Strasbourg).
TIGR	Travaux de l'Institut de Géographie de Reims.
TIRS	*Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes.*
NorwArchRev	Norwegian Archeological Review.
Z.Geomorph	Zeitschrifft für Geomorphologie.

Repères bibliographiques

Renvoyant aux notes du texte pour le détail, dans ce court répertoire bibliographique ne sont retenus que les titres les plus importants touchant à la dépression de Kharga, au Sahara et à son milieu, à la mise en valeur et à la maîtrise de l'eau et, pour finir, à la géographie et à son champ disciplinaire.

Le milieu du Sahara oriental peut être connu par :

Saïd (Rushdi) (éd.). — *The Geology of Egypt,* A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1990, 734 p., bibliographie, annexes, nombreuses figures référencées par chapitre.

Wendorf (Fred), Schild (Romuald). — *Prehistory of the Eastern Sahara,* Studies in Archaelogy, New York, Academic Press, 1980, 414 p.

el-Baz (F.), Maxwell (T.A.) (éd.). — *Desert Landform of Southwest Egypt : a basis for comparaison with Mars,* 1982, NASA CR 3611, 372 p.

Le Sahara ou les régions arides et leur occupation humaine par :

Dresch (Jean). — *Géographie des régions arides,* Paris, PUF, Le Géographe, 1982, 277 p, 26 fig.

Planhol (Xavier de), Rognon (Pierre). — *Les zones tropicales arides et subtropicales,* Coll. U.A. Collin, Paris, 1970, 488 p., 40 fig.

Rognon (Pierre). — *Bibliographie d'un désert,* Paris, Plon, Collection scientifique Synthèse, 1989, 347 p., 20 fig.

Une description récente de la piste des Quarante jours se trouve dans :

Asher (Michael). — *La piste des Quarante jours,* Payot, 1993, 320 p.

Le passé des oasis de la dépression de Kharga a été traité par :

Barakat (Hala Nayel), Baum (Nathalie). — *La végétation antique de Douch, (Oasis de Kharga), Une approche macrobotanique,* Douch II, *DFIFAO* XXVII, *IFAO* Le Caire, 1992, 105 p., 106 fig., 9 tblx.

DUNAND (Françoise), HEIM (Jean-Louis), HENEIN (Naim), R. LICHTENBERG (Roger). *La Nécropole de Douch,* Douch I, *DFIFAO* XXVI, IFAO, Le Caire, 1992, 369 p.

REDDÉ (Michel). *Le Trésor de Douch (Oasis de Kharga),* Douch IV, *DFIFAO* XXVIII, *IFAO*, Le Caire, 1992, 76 p., 114 fig.

WAGNER (Guy). *Les oasis d'Égypte à l'époque grecque, romaine et byzantine d'après les documents grecs (Recherches de papyrologie et d'épigraphie grecques), BdE* C, 1987, 435 p., XLIV Pl. photos h.t., 4 cartes h.t.

La maîtrise de l'eau peut être appréhendée à travers :

BONNIN (Jacques). L'eau dans l'Antiquité. *L'hydraulique avant notre ère*, collection de la Direction des études et recherches d'Électricité de France 47, éd. Eyrolles, 1984, 454 p., fig. nombreuses.

DUCROCQ (Michel). *Les bases de l'irrigation*, Techniques agricoles méditerranéennes, Technique et Documentation, Lavoisier/éd. Sciences universitaires, Beyrouth, 1990, 117 p., 37 fig., 12 tableaux, glossaire, bibliographie.

DUPRIEZ (Henri), LEENER (Philippe de). *Les chemins de l'eau. Ruissellement, Irrigation, Drainage,* 1990, 380 p.

DURAND (Jacques). *Les terres irrigables.* Étude pédologique, Paris, Presses Universitaires de France, 1983, 339 p.

N. MAROUF. *Lecture de l'espace oasien*, Paris, Sindbad, La Bibliographie arabe, 1980, 286 p.

NORDON (Marcel). *L'eau conquise. Les origines et le monde antique. Histoire de l'Hydraulique,* Paris, Masson, 1991, 181 p., fig., pl. photographiques h.t.

La géographie et son champ disciplinaire sont exposés dans :

PINCHEMEL (Philippe et Geneviève). *La Face de la Terre, Paris,* A. Colin, 1988, 519 p.

SCHEIBLING (Jacques). *Qu'est-ce que la Géographie ?* Paris, Hachette Supérieur, coll. Carré Géographie, 1994, 168 p.

COQUE (Roger). *Géomorphologie,* Paris, A. Colin, coll. U, 1993, 5e éd., 503 p., 75 fig., 36 phot.

HEINRICHT (Dieter), HERGT (Manfred). *Atlas de l'Écologie,* Encyclopédies d'Aujourd'hui, Livre de Poche, 1990, édition fr. 1993, 284 p., nombreuses illustrations.

Les mots de la géographie et du milieu terrestre sont définis dans :

BRUNET (Roger), FERRAS (Roger), THÉRY (Hervé). *Les Mots de la Géographie, dictionnaire critique,* Reclus, La Documentation française, 1992, 3e éd. 1993, 3 154 entrées, 518 p.

DUQUET (Marc). *Glossaire d'écologie fondamentale,* Paris, Nathan, Université, collection 128 Sciences, 1993, 128 p., 449 articles.

GEORGE (Pierre). *Dictionnaire de la Géographie,* Paris, Presses Universitaires de France, 1970, 448 p.

Pour comparaison avec la vallée du Nil :

BONNEAU (Françoise). *La crue du Nil, divinité égyptienne à travers mille ans d'Histoire (332 av. à 641 apr. J.-C.) d'après les auteurs grecs et latins et les documents des époques ptolémaïque, romaine et byzantine,* 1964, Paris.

CHADEFAUD (Catherine). *Le climat dans l'Égypte antique des premières dynasties à l'époque romaine – Contibution de l'Histoire de la végétation à la géographie historique,* 1990/91, Paris IV – Sorbonne, thèse, 2 volumes, 783 p. + 1 corpus documentaire de 337 p.

PHOTOGRAPHIES

PHOTO 1.
Tell-Douch. Panorama, extrémité ouest.

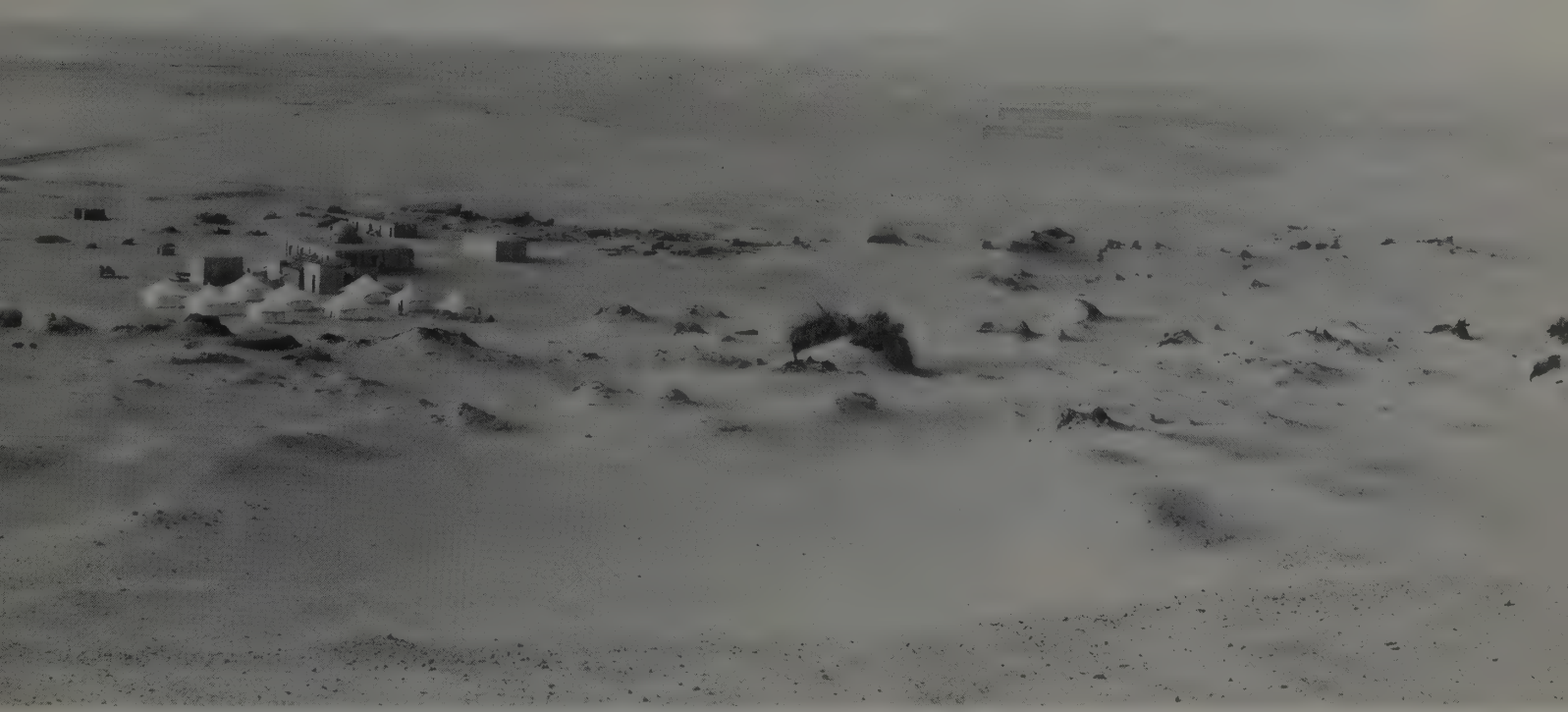
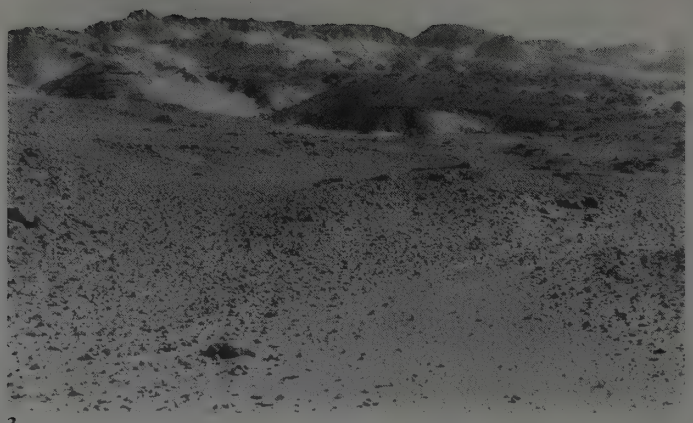
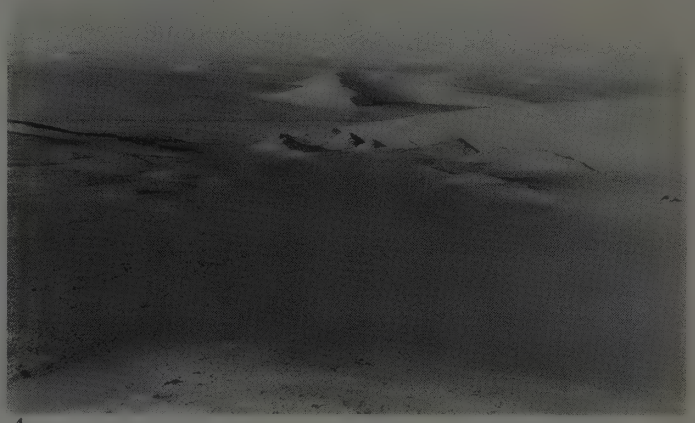


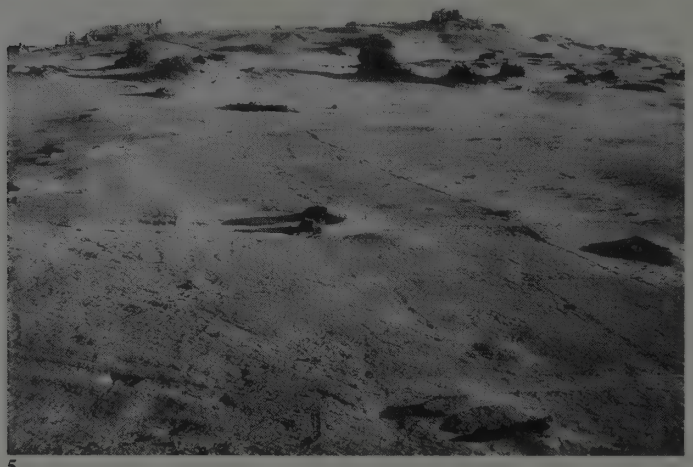
PHOTO 2. *Tell-Douch. Panorama palier de limon gris aménagé en parcellaires, secteur central.*



3



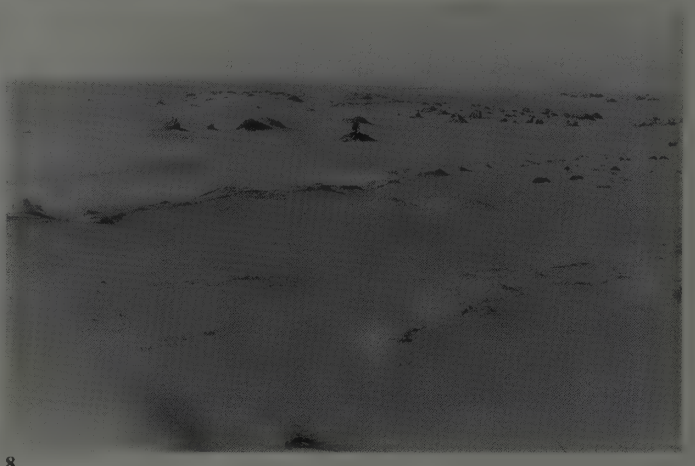
4



5

6

7



8

PHOTO 3. *Naqb Douch. Panorama sur la corniche de l'entablement inférieur.*

PHOTO 4. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres, face nord, secteur est. Cordon de barkhanes.*

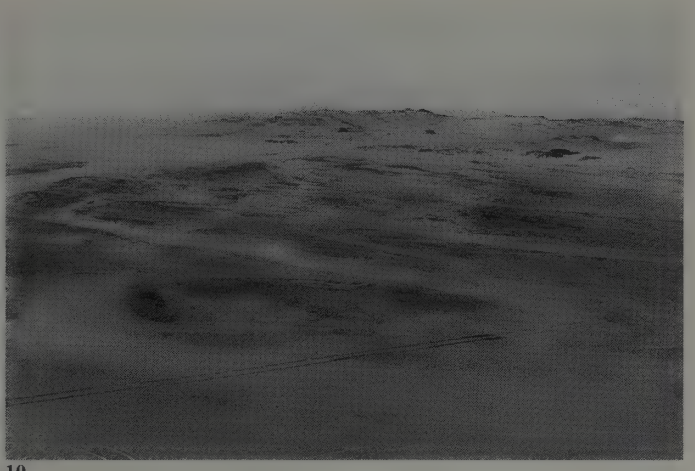
PHOTO 5. *Tell-Douch. Palier des parcellaires verger d'oasis, face nord, secteur est.*

PHOTO 6. *Ezbet Douch. Parcelles actuelles cultivées : maïs et billons.*

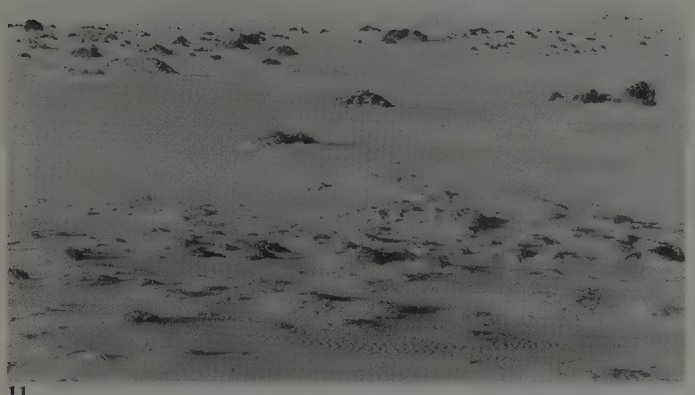
PHOTO 7. *Tell-Douch sud. Puits d'irrigation ensablé.*

PHOTO 8. *Aïn Ziyada. Bas du revers sud et puits d'Aïn Ziyada dans la plaine.*

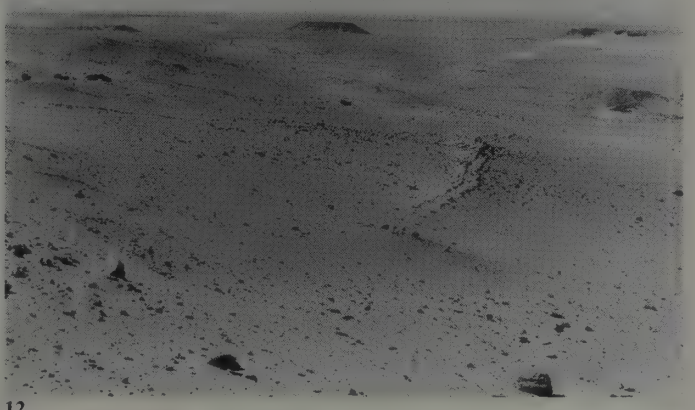
9



10



11



12

13

14

PHOTO 9. *Aïn Ziyada, flanc est, secteur nord. Tertres phytogéniques et regards de* qanat.

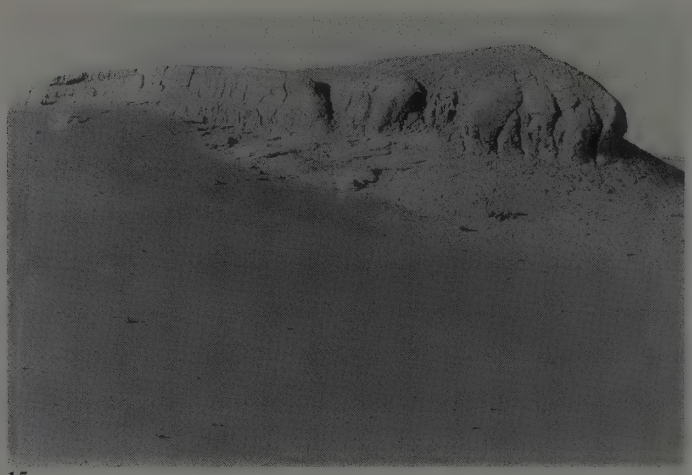
PHOTO 10. *Aïn Manawir. Site vu de la barkhane n° 20.*

PHOTO 11. *Dikura. Face nord, extrémité est. Nebkas et tertres phytogéniques.*

PHOTO 12. *Aïn Boreq. Hydragogue amont et parcellaire d'oued.*

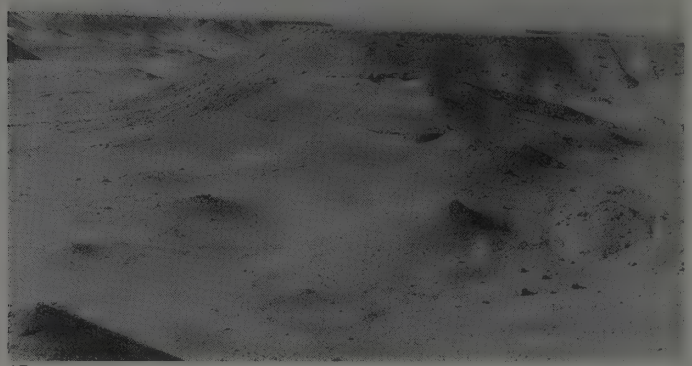
PHOTO 13. *Tell-Douch. Face nord. Fosse du* qanat *ouest. Stratigraphie de l'ensablement.*

PHOTO 14. *Tell-Douch. La crête faîtière. Érosion différentielle.*

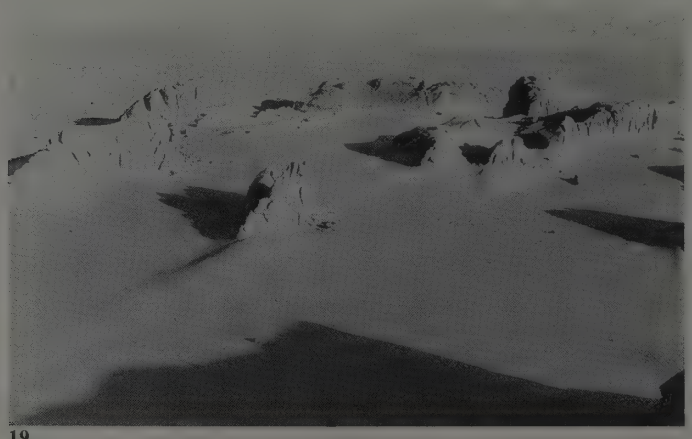


15

16



17



19

18

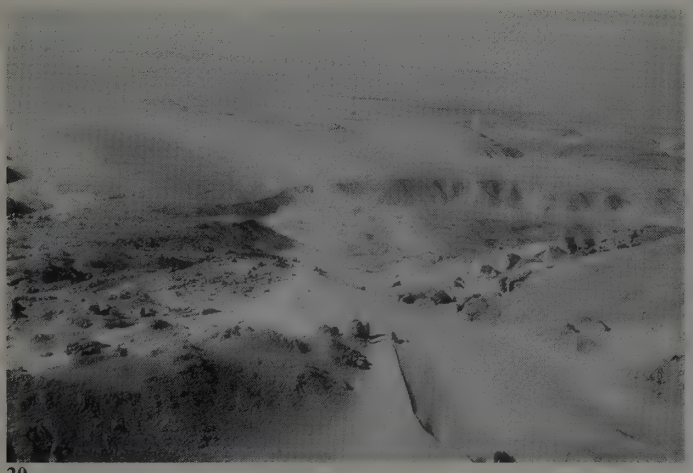
PHOTO 15. *Aïn Ziyada, face nord, secteur ouest. Crête faîtière et butte profilée.*

PHOTO 16. *Aïn Manawir. Barkhanes et dykes d'imprégnations ferrugineuses dans les limons gris au premier plan.*

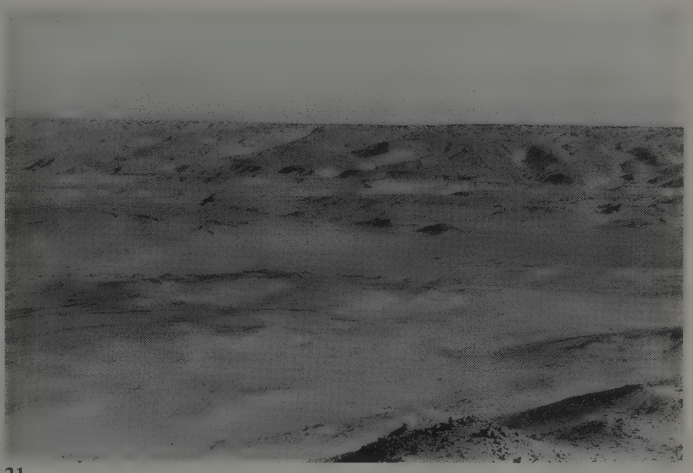
PHOTO 17. *Piémont. Formation de Dakhla. Glacis étagés, dissection et ensablement actuel.*

PHOTO 18. *Naqb Douch. Écroulement de la corniche inférieure.*

PHOTO 19. *Aïn Ziyada. Crête faîtière. Dykes de faille et yardangs.*



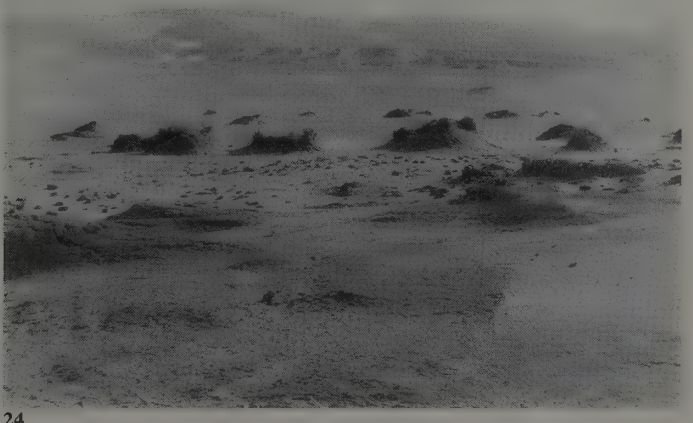
20



21

22

23



24

PHOTO 20. *Piémont et embayment de Baris.*
Vus de la corniche du Naqb Douch, les glacis et leur dissection.

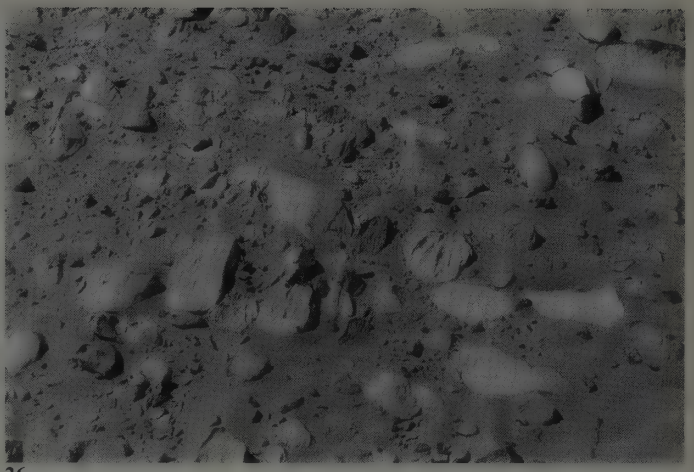
PHOTO 21. *Naqb Douch. Entablement inférieur, corniche d'écroulement,*
talus à ravins, piémont détritique.

PHOTO 22. *Piémont. Lit d'oued servant de lit d'écoulement éolien.*

PHOTO 23. *Piémont. Ravine et rigole de versant.*
Cône de déjection et lit d'oued.

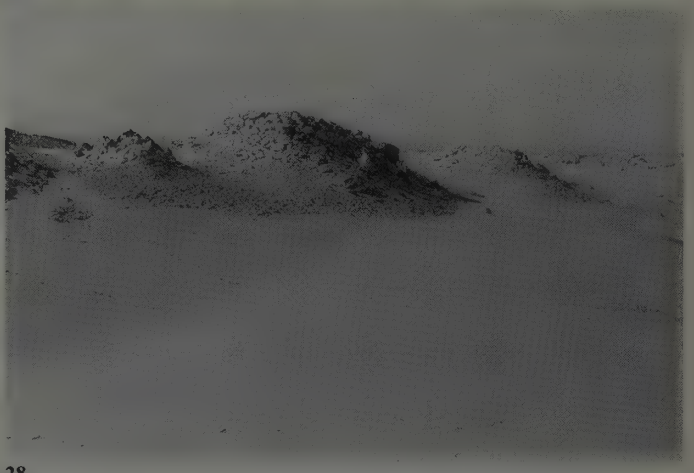
PHOTO 24. *Naqb Douch vu d'Aïn Ziyada. Dunes d'accumulation et nebkas.*

25



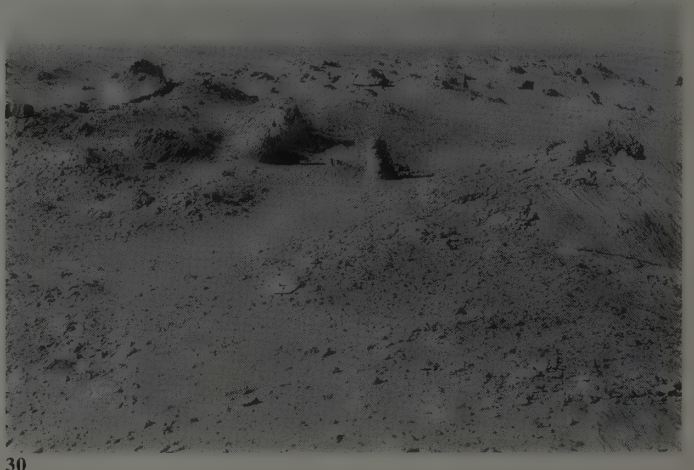
26

27



28

29



30

PHOTO 25. *Plaine de Douch. Reg sableux. Quartz des grès de Taref.*

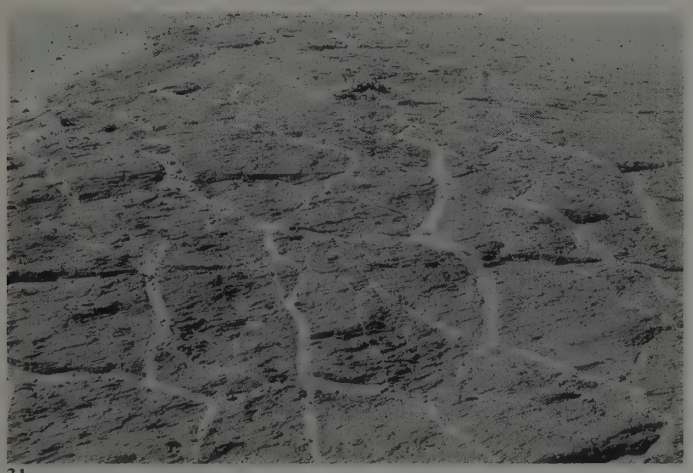
PHOTO 26. *Piémont. Reg caillouteux d'un lit d'oued du piémont.*

PHOTO 27. *Naqb Douch. Replat structural. Rainuration du calcaire par la corrasion éolienne.*

PHOTO 28. *Naqb Douch. Front tectonique. Roche broyée et yardang dans le substrat.*

PHOTO 29. *Naqb Douch. Surface d'un glacis. Reg caillouteux.*

PHOTO 30. *Naqb Douch. Surface d'un glacis. Lit d'écoulement éolien et sa trace au sol par lustrage des cailloux.*

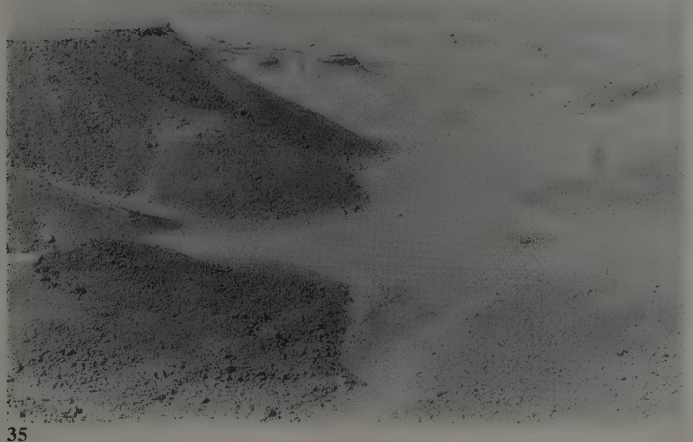


31

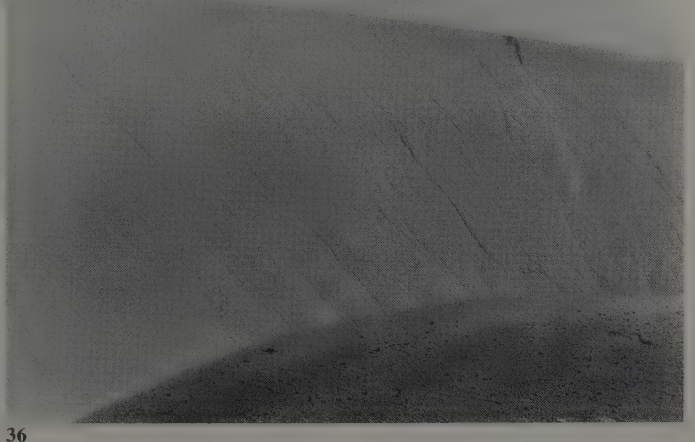
32

33

34



35



36

PHOTO 31. *Dikura. Les limons gris et la polygonisation du matériel.*

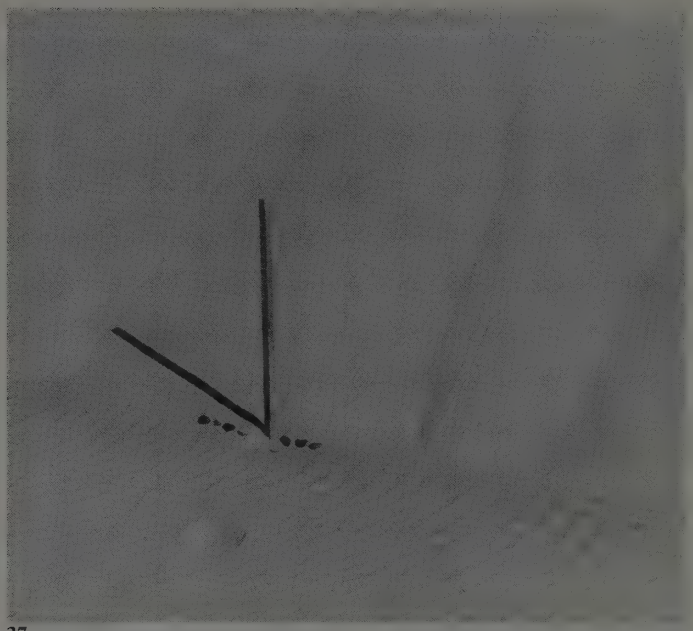
PHOTO 32. *Tell-Douch. Parcellaire de plaine. Érosion des parcelles.*

PHOTO 33. *Dikura. Nebkas et ensablement des parcellaires. Couloirs de déflation.*

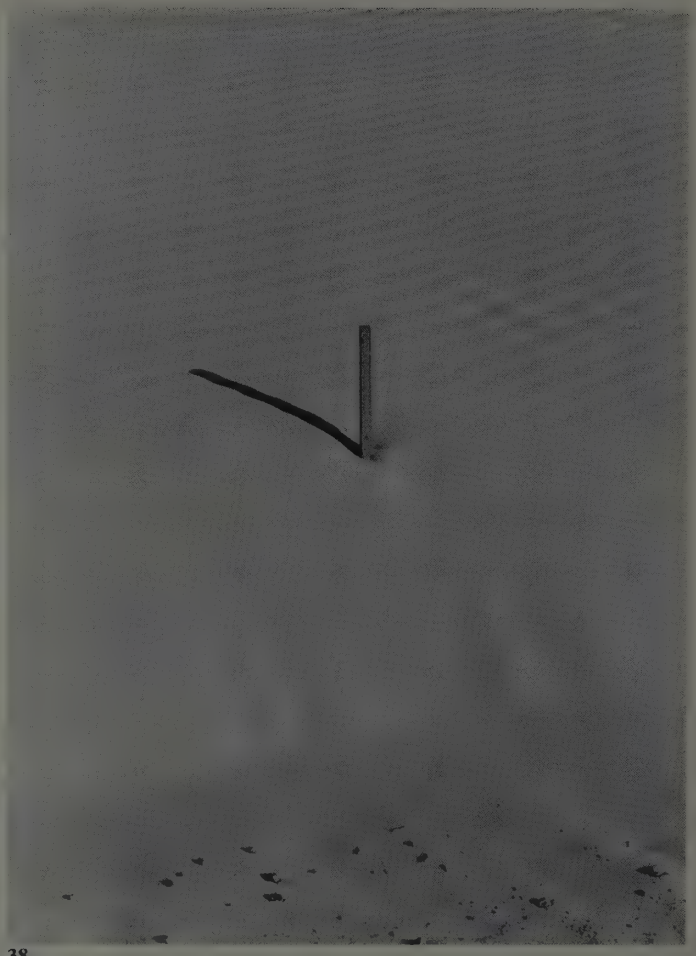
PHOTO 34. *Dikura. Nebkas, plaine nord.*

PHOTO 35. *Piémont. Incision linéaire et ensablement.*

PHOTO 36. *Barkhane. Face sous le vent et loupes de glissement du sable.*



37



38

39

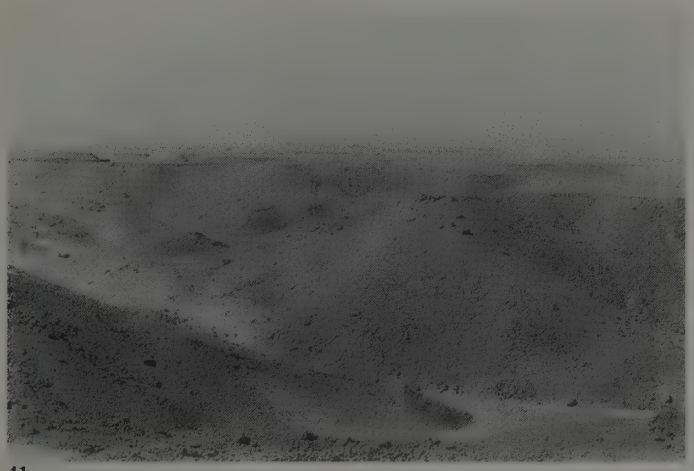
40

PHOTO 37. *Barkhane. Face sous le vent. Implantation d'un repère d'ensablement.*

PHOTO 38. *Barkhane. Face sous le vent. Repère ensablé après trois jours de vent.*

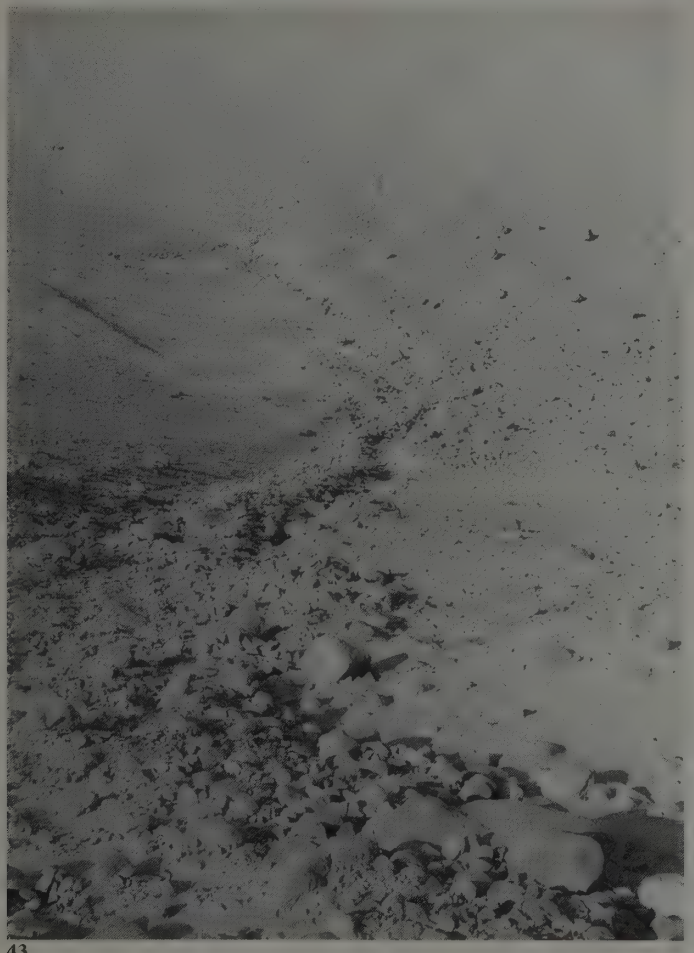
PHOTO 39. *Tell-Douch. Remplissage du tunnel du* qanat *nord.*

PHOTO 40. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres de type iranien recouverte par le sable.*



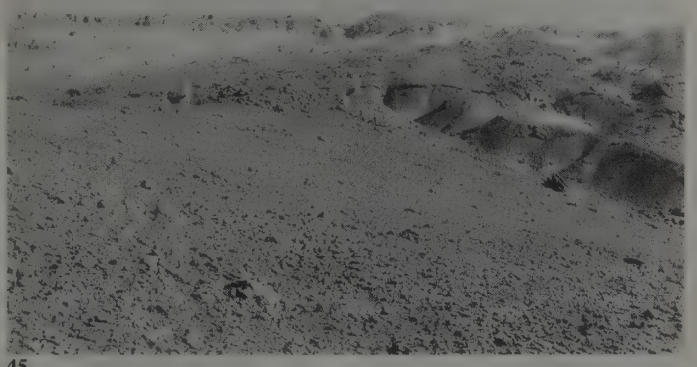
41

42



43

44



45

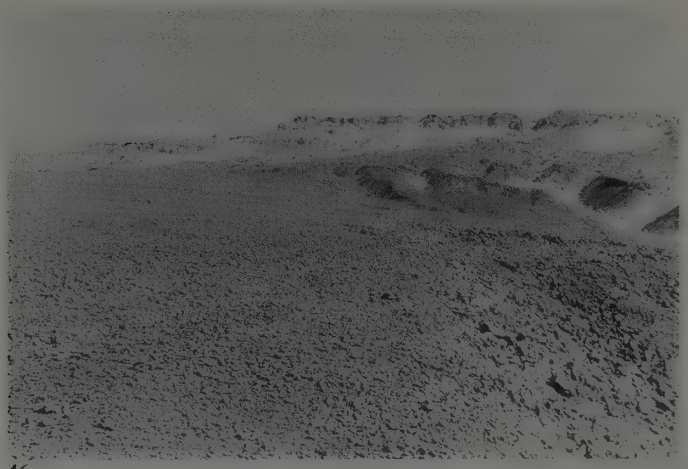
PHOTO 41. *Piémont. Dissection et dépôt de pente.*

PHOTO 42. *Piémont. Nappe détritique sur substrat argileux.*

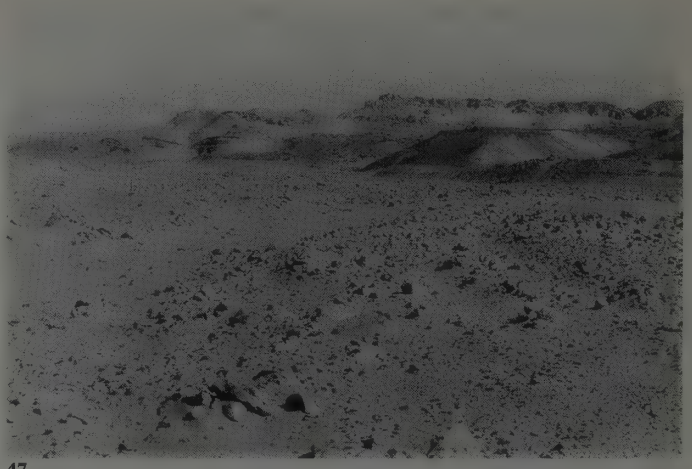
PHOTO 43. *Piémont. Ravinement sur versant de raccord de glacis.*

PHOTO 44. *Piémont. Nappe caillouteuse et entablement dans la couverture légèrement indurée. Versant à dépôt.*

PHOTO 45. *Naqb Douch. Corniche avec écroulement catastrophique discordant sur une couverture détritique de glacis.*



46



47

48

49

50

51

PHOTO 46. *Naqb Douch. Couverture de glacis et versants de raccord. Emboîtement recouvert par l'écroulement. Ravinement et ensablement ultérieurs.*

PHOTO 47. *Naqb Douch. Piémont. Le système étagé des glacis et lit d'oued.*

PHOTO 48. *Plaine de Douch. Glacis dans les schistes de Quseir. Dissection incipiente et ensablement.*

PHOTO 49. *Piémont. Lit d'oued et basse terrasse.*

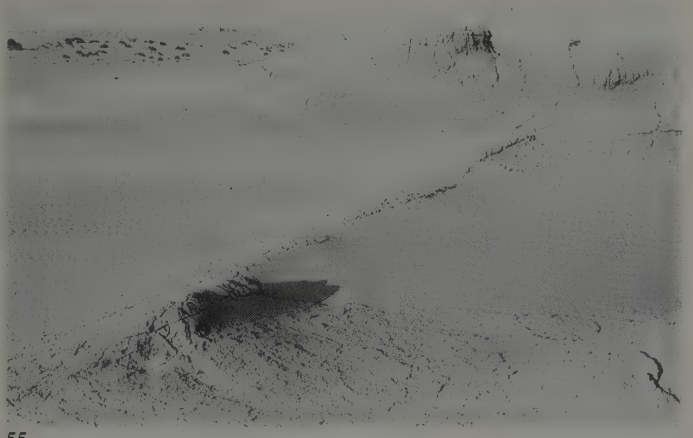
PHOTO 50. *Tell-Douch. Croûte de gypse.*

PHOTO 51. *Tell-Douch ouest. Parcelles en cours de destruction par le vent.*

52

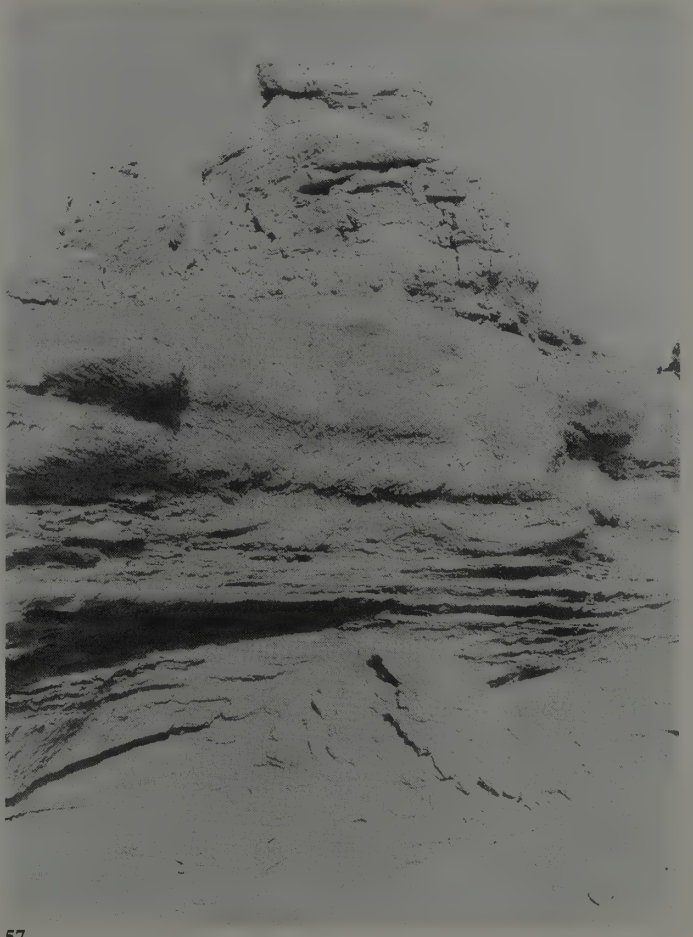
53

54



55

56



57

PHOTO 52. *Tell-Douch est. Parcellaire antique dont les digues sont recouvertes d'une croûte.*

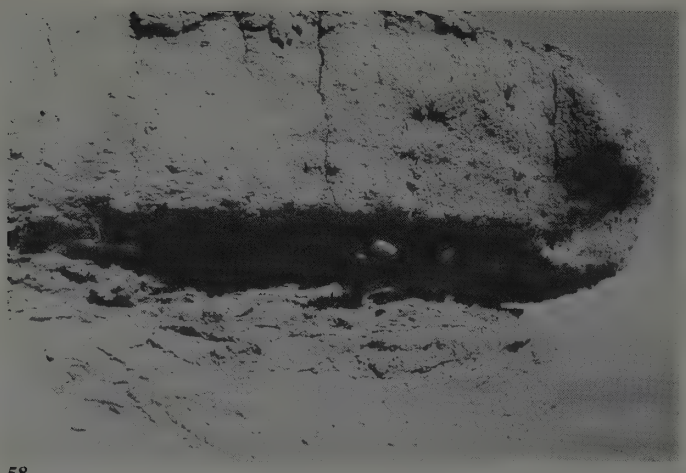
PHOTO 53. *Dikura. Yardangs, buttes profilées et couloirs de déflation.*

PHOTO 54. *Aïn Ziyada. Buttes profilées dans les limons gris, couloir de déflation et regard de* qanat.

PHOTO 55. *Aïn Ziyada. Les deux systèmes sédimentaires des limons gris.*

PHOTO 56. *Aïn Ziyada. Butte profilée et faciès à polygones de dessiccation.*

PHOTO 57. *Aïn Ziyada. Les deux systèmes et leurs faciès respectifs.*



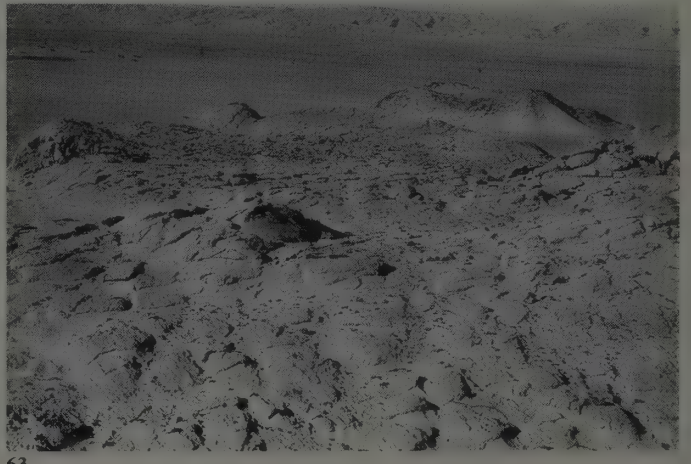
58

59

60

61

62



63

PHOTO 58. *Tell-Douch. Butte profilée recouvrant une surface avec tessons.*

PHOTO 59. *Tell-Douch, extrémité ouest. Buisson de steppe fossilisé à la limite des deux systèmes du limon gris.*

PHOTO 60. *Tell-Douch. Formation à silex laiteux en inversion de relief et cuvettes de déflation ensablées.*

PHOTO 61. *Dikura. Bassin de source artésienne.*

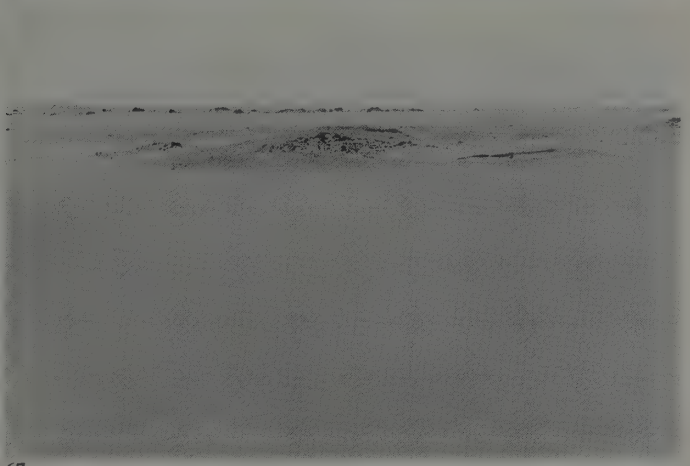
PHOTO 62. *Tell-Douch, secteur est. Puits artésien et sa cuve ensablée.*

PHOTO 63. *Tell-Douch, secteur est. Faciès d'imbibition par montée artésienne diffuse.*

64

65

66



67

68

69

PHOTO 64. *Dikura. Bouche de puits artésien encadrée par des dunes.*

PHOTO 65. *Dikura. Puits artésien en vasque.*

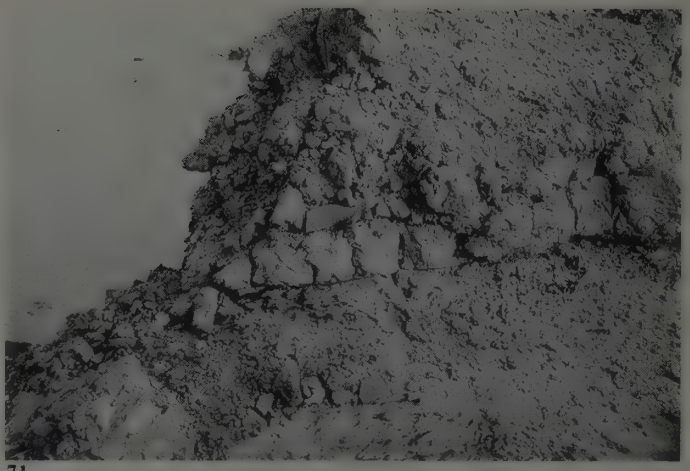
PHOTO 66. *Dikura. Dunes de puits artésien, perchées sur une plate-forme.*

PHOTO 67. *Dikura. Puits artésien à remplissages successifs et niveaux de calcination.*

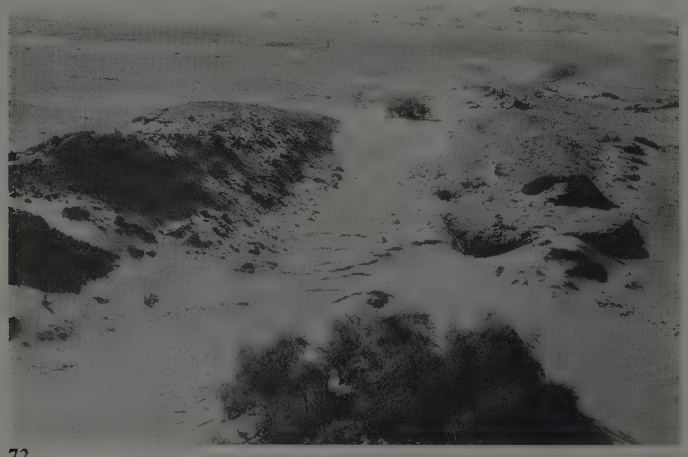
PHOTO 68. *Dikura. Puits artésien, cône et cuve.*

PHOTO 69. *Dikura. Langue sableuse et puits artésien.*

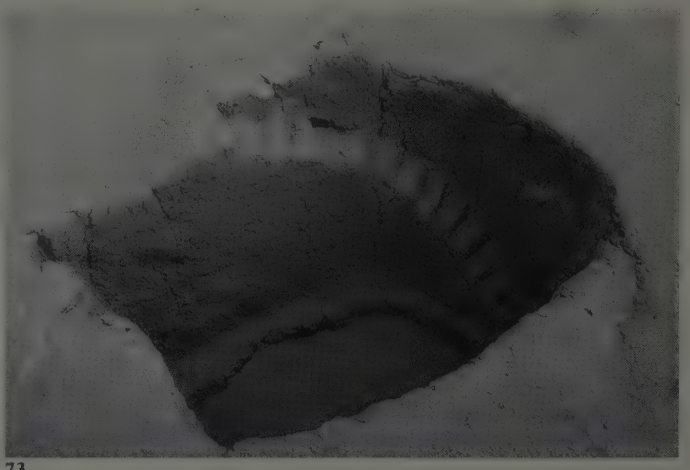
70



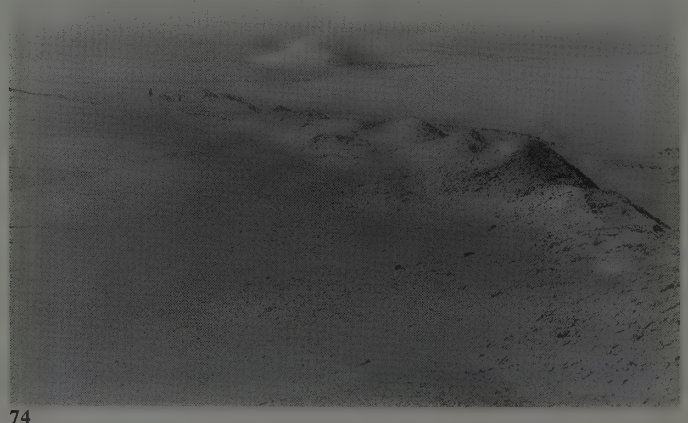
71



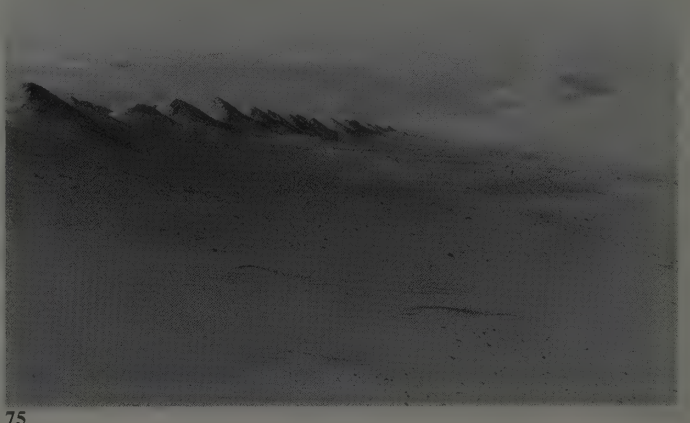
72



73



74



75

PHOTO 70. *Dikura. Puits artésien aménagé en point d'eau.*

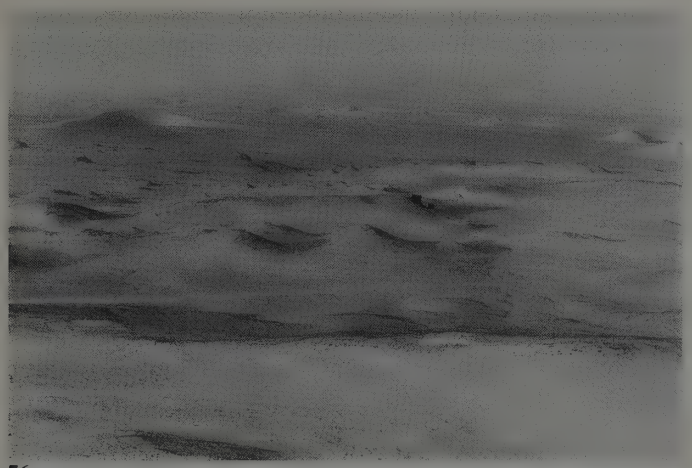
PHOTO 71. *Dikura. Ejecta de puits et mottes façonnées.*

PHOTO 72. *Tell-Douch, nord. Puits d'irrigation, chenal d'évacuation et parcellaire de puits avec digue de ceinture.*

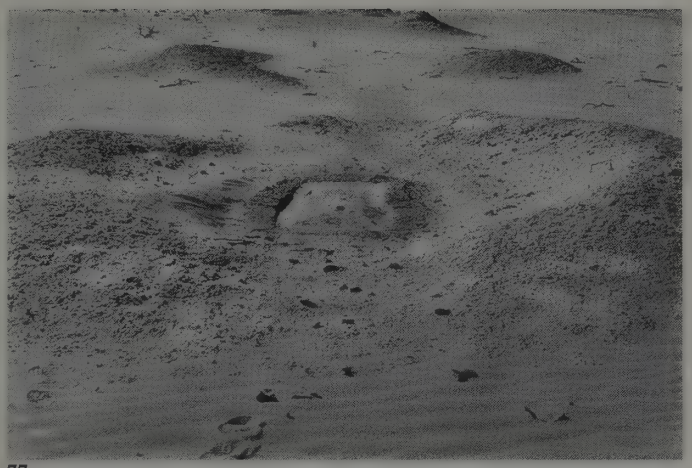
PHOTO 73. *Dikura. Citerne à escalier creusée dans les limons gris.*

PHOTO 74. *Aïn Manawir. Face nord.* Qanat *à tertres de type iranien, secteur amont.*

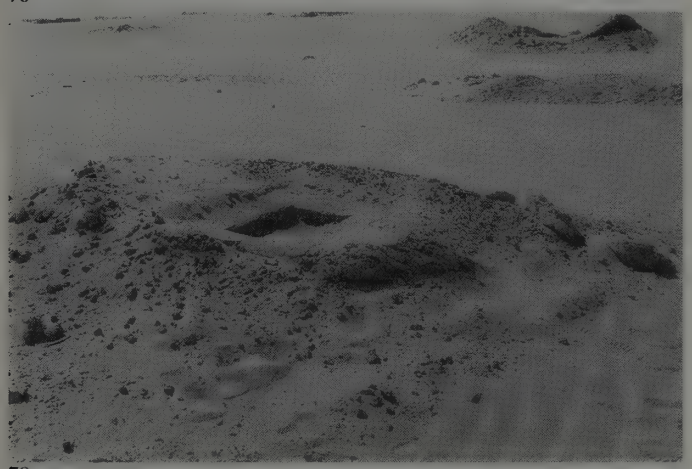
PHOTO 75. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres et son recouvrement par une barkhane.*



76

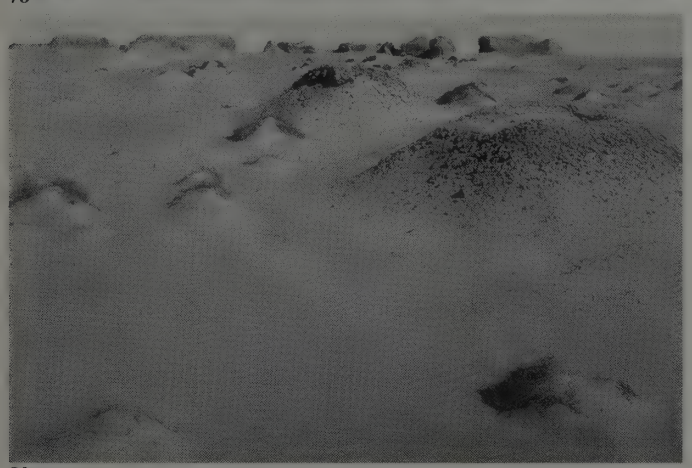


77



78

79



80

81

PHOTO 76. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres et versant nord.*

PHOTO 77. *Dikura.* Qanat *à tertres et regard d'accès ensablé.*

PHOTO 78. *Dikura sud.* Qanat *à tertres.*

PHOTO 79. *Aïn Ziyada. Versant sud.* Qanat *à tertres.*

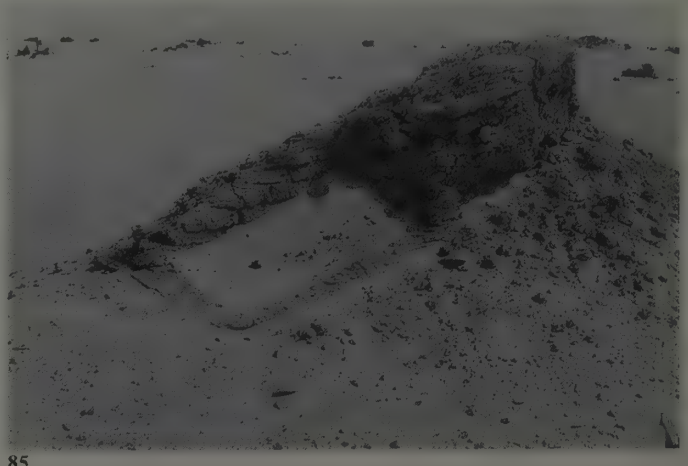
PHOTO 80. *Aïn Ziyada. Tertres de* qanat *et ensablement.*

PHOTO 81. *Aïn Ziyada. Tertres de* qanat *et tête de puits.*

82

83

84



85

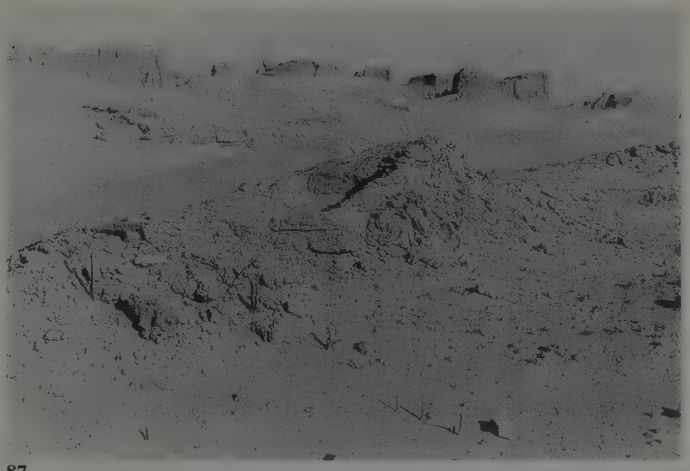
PHOTO 82. *Dikura. Tertre de* qanat *et alignement de buttes profilées à regards.*

PHOTO 83. *Dikura.* Qanat *sans tertres.*

PHOTO 84. *Dikura ouest. Tertre de* qanat, *regard et saignée avec son recouvrement de briques.*

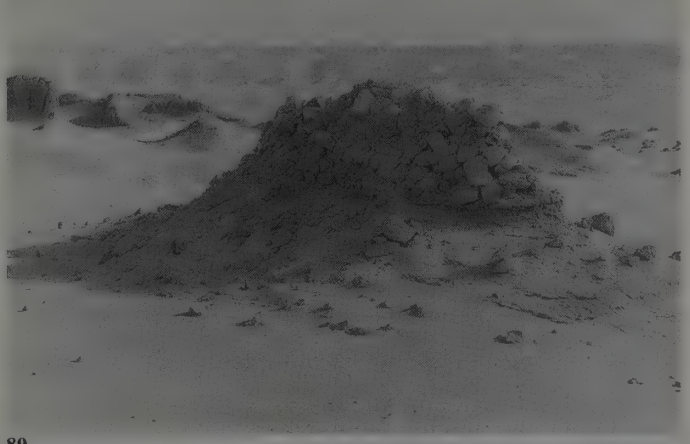
PHOTO 85. *Dikura ouest. Tertre à regard.*

86



87

88



89

90

91

PHOTO 86. *Dikura ouest. Tertre avec deux regards.*

PHOTO 87. *Aïn Ziyada. Regard de* qanat *sur butte profilée.*

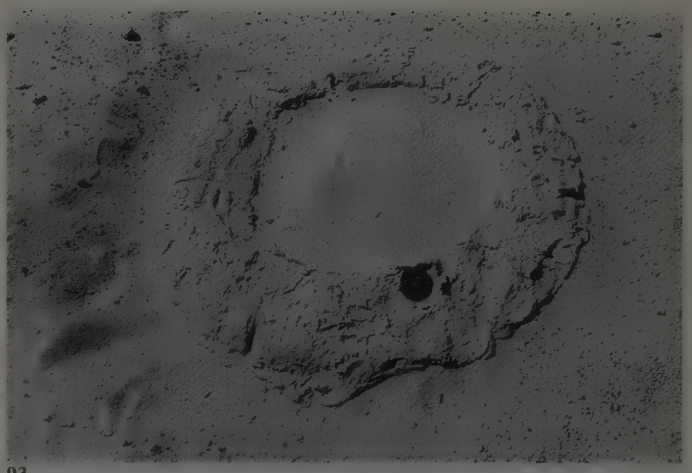
PHOTO 88. *Aïn Ziyada. Cheminée d'un regard encastré dans son tertre d'éjecta.*

PHOTO 89. *Aïn Ziyada. Ejecta en mur d'un regard de* qanat.

PHOTO 90. *Tell-Douch.* Qanat *du versant nord. Fosse à paliers et tunnel ensablé.*

PHOTO 91. *Dikura. Regard de* qanat *obturé.*

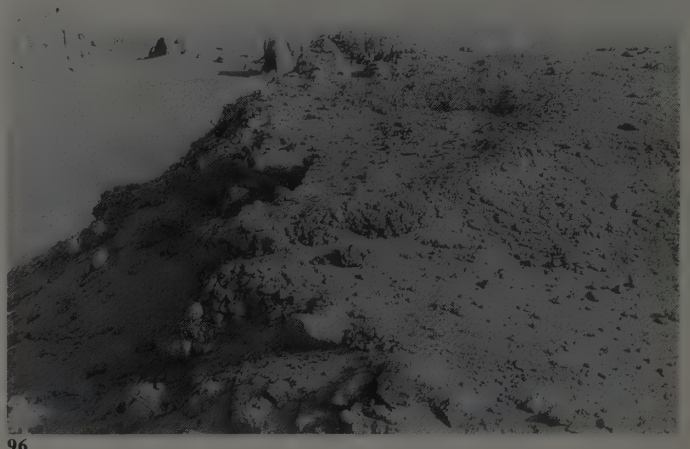
92



93

94

95



96

PHOTO 92. *Tell-Douch.* Qanat *nord. Galerie souterraine ensablée (phot. Michel Reddé).*

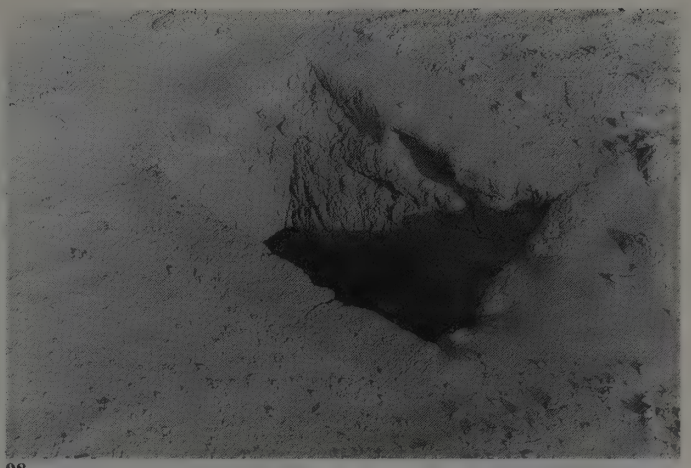
PHOTO 93. *Dikura. Regard circulaire à bourrelet d'argile.*

PHOTO 94. *Dikura. Couronnement de briques d'un regard carré. Éolisation des briques.*

PHOTO 95. *Dikura. Cheminée d'accès sur façonnement en tertre.*

PHOTO 96. *Aïn Ziyada. Regard dans un terrassement de mottes.*

97



98

99

100

PHOTO 97. *Aïn Ziyada. Regard et cheminée d'accès avec façonnement sur un ancien puits.*

PHOTO 98. *Aïn Ziyada. Cheminée d'accès et regard rectangulaire.*

PHOTO 99. *Dikura. Tranchée recoupant une mince couche de limon gris et grès de Taref en support (phot. Michel Reddé).*

PHOTO 100. *Dikura. Tranchée recouverte de brique et regard en amont.*

101

102

103

104

105

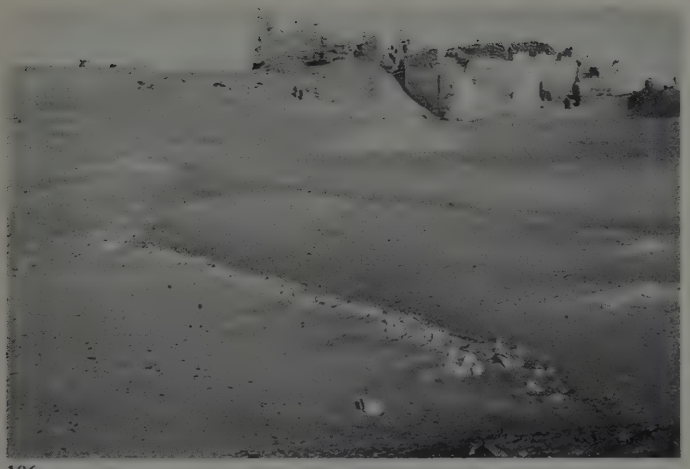
PHOTO 101. *Dikura. Tranchée recouverte d'un* opus incertum *et regard.*

PHOTO 102. *Dikura. Galerie souterraine et enduit (mouna).*

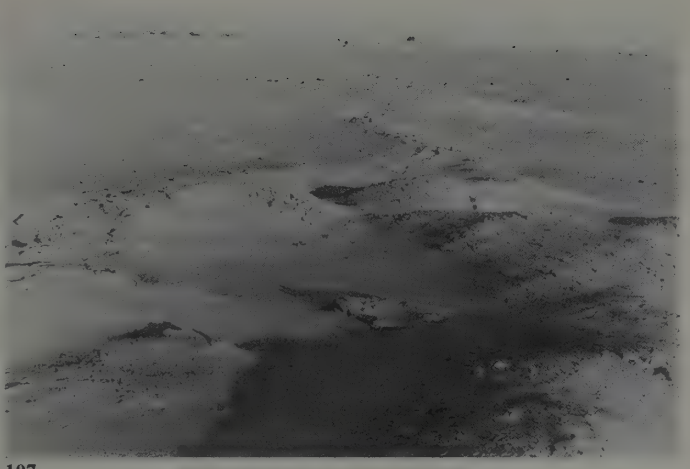
PHOTO 103. *Dikura.* Qanat *à tranchées ensablées, sans tertres, ni maçonnage.*

PHOTO 104. *Dikura. Arrivée d'une saignée de* qanat *dans une cuve de puits. Type de* qanat-*puits. Mur hydraulique.*

PHOTO 105. *Dikura.* Qanat *et saignée aval avec diffluent.*



106



107

108

109

PHOTO 106. *Tell-Douch.* Qanat *est. Aqueduc aval avant la fouille. Bâtisse du temple et du grenier fortifié à l'arrière plan.*

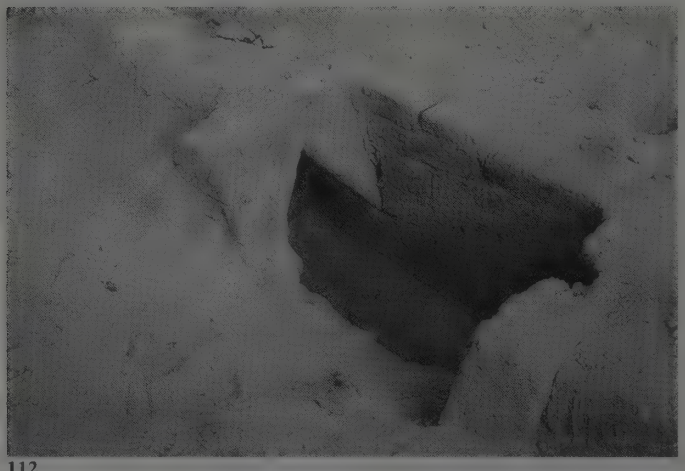
PHOTO 107. *Tell-Douch.* Qanat *est. Tertres aval, aqueduc ensablé et dunes sur l'hydragogue.*

PHOTO 108. *Tell-Douch.* Qanat *est. Dégagement des tertres avec regard et chenal sous voûte de briques.*

PHOTO 109. *Tell-Douch.* Qanat *est. Les tertres et les regards.*

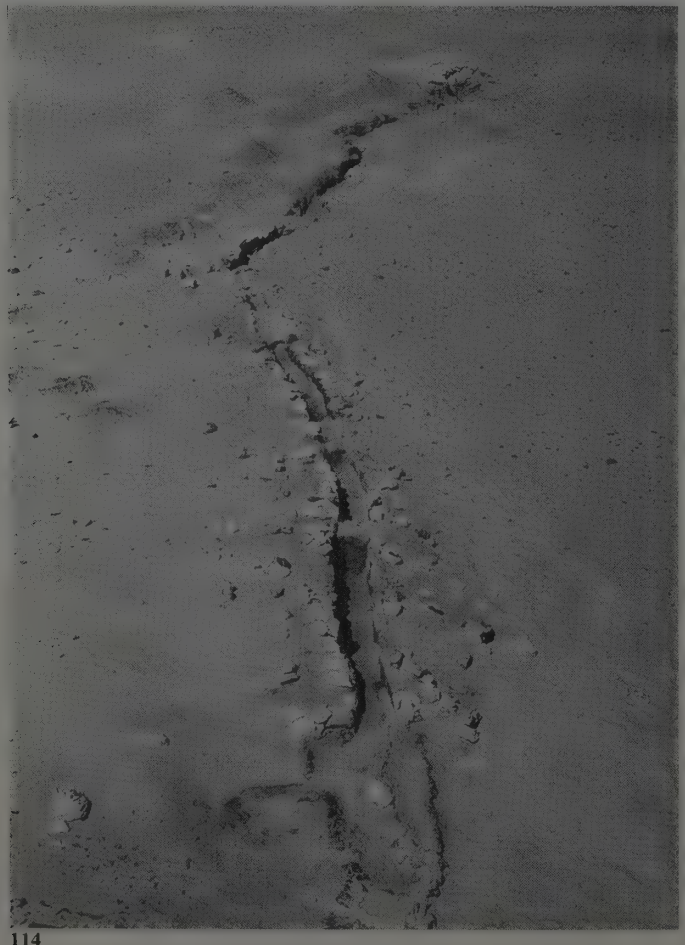
110

111



112

113



114

PHOTO 110. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Regard avec couronnement de fausses briques.

PHOTO 111. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Regard sur voûte de briques masquant une saignée.

PHOTO 112. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Regard avec voûte triangulaire.

PHOTO 113. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Intérieur de la galerie avec voûte triangulaire.

PHOTO 114. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Aqueduc aval avec levées de blocs.

115

116

117

118

119

PHOTO 115. *Tell-Douch.* Qanat *est.*
Aqueduc avec bordures de blocs
et reste d'une couverture en briques de la saignée.

PHOTO 116. *Tell-Douch. Façade est.*
Bossellements liés aux tertres des qanawat.

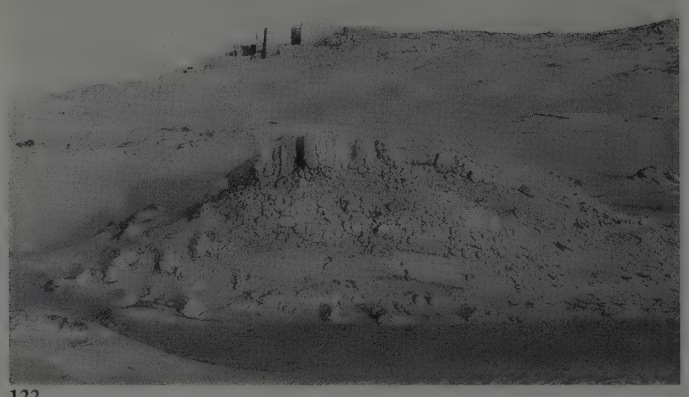
PHOTO 117. *Tell-Douch.* Qanat *nord, secteur est.*
Vue générale vers l'aval.

PHOTO 118. *Tell-Douch.* Qanat *à fosse nord, secteur central.*
Extrémité aval. À l'arrière plan, sous le temple
en briques, tête du qanat.

PHOTO 119. *Tell-Douch.* Qanat *à fosses nord. Conduit en place*
pour le drainage de la galerie souterraine.

120

121



122

123

124

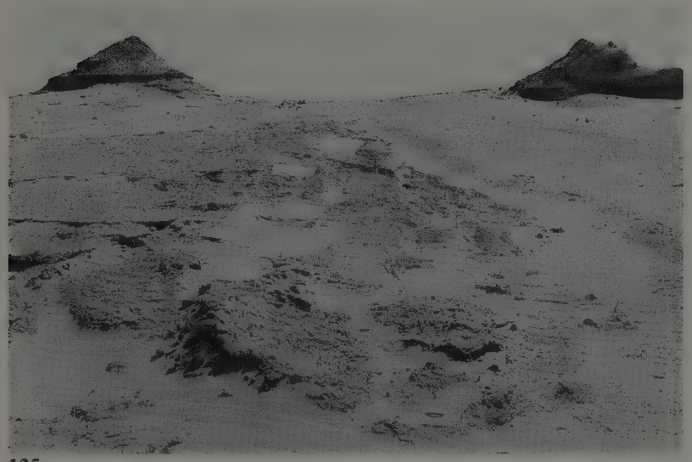
PHOTO 120. *Tell-Douch nord.* Qanat *à fosses, secteur aval.*

PHOTO 121. *Tell-Douch.* Qanat *nord. Extrémité aval avec trace de l'hydragogue.*

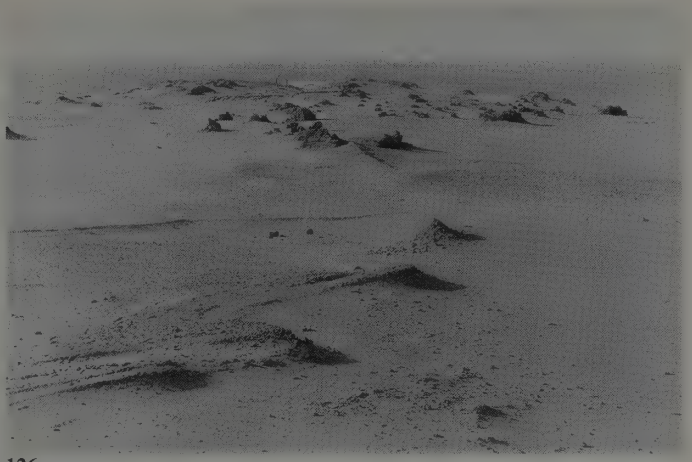
PHOTO 122. *Tell-Douch. Puits obturé, utilisé auparavant pour un* qanat *comme regard d'accès.*

PHOTO 123. *Dikura.* Qanat *sur un alignement de buttes profilées.*

PHOTO 124. *Dikura. Puits avec chenal d'évacuation sous forme de galerie de* qanat.



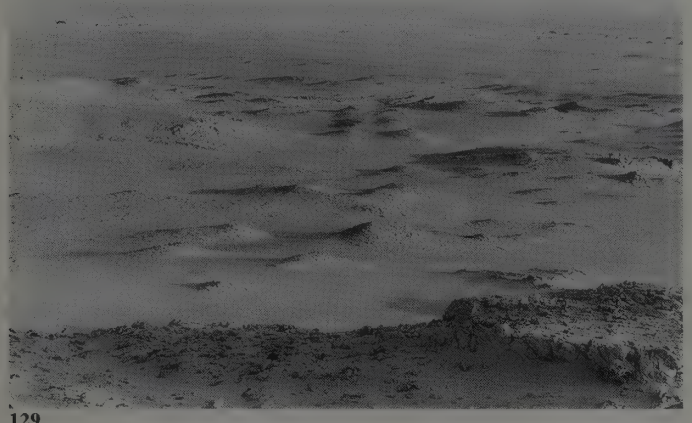
125



126

127

128



129

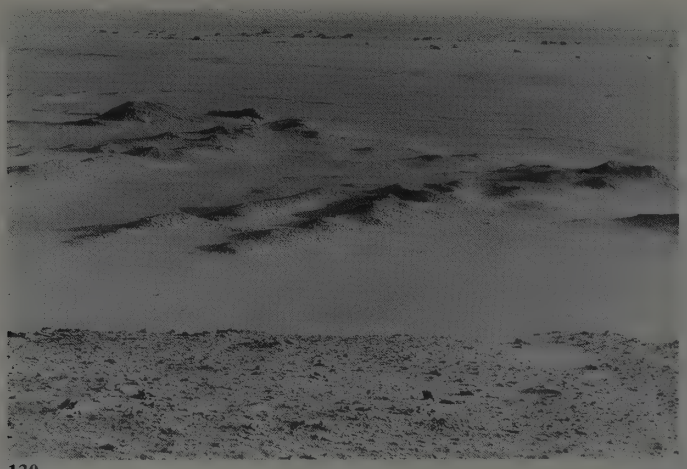
PHOTO 125. *Dikura.* Qanat *abandonné et puits avec chenal d'évacuation.*

PHOTO 126. *Aïn Ziyada. Versant sud. Réservoir avec hydragogue et parcellaires ensablés.*

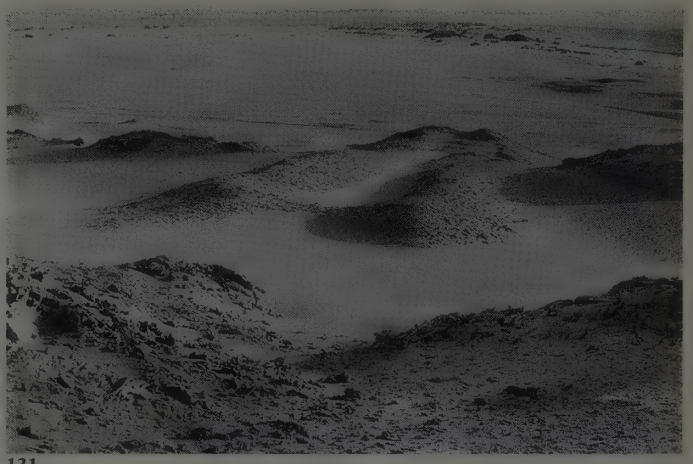
PHOTO 127. *Dikura. Parcellaire mis au jour par migration de la barkhane.*

PHOTO 128. *Dikura. Trace d'hydragogue ensablé.*

PHOTO 129. *Tell-Douch. Versant sud. Le système des* qanawat.



130



131

132

134

133

PHOTO 130. *Tell-Douch. Versant sud.* Qanat *de type kysite.*

PHOTO 131. *Tell-Douch.* Qanat *de type kysite à fosse.*

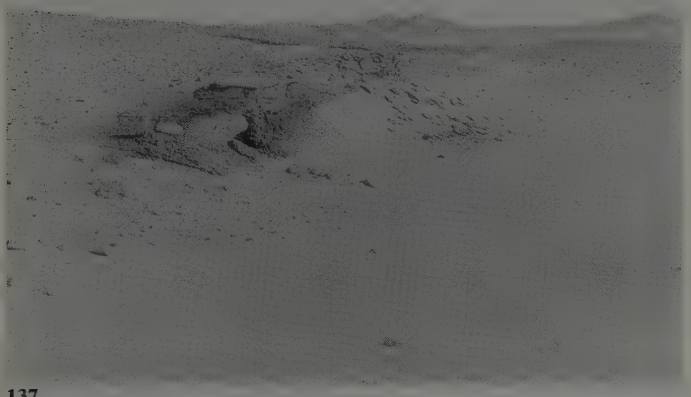
PHOTO 132. *Tell-Douch. Secteur nord. Pot dans un bassin aménagé. Irrigation par canaris.*

PHOTO 133. *Tell-Douch. Secteur nord. Hydragogue en auge.*

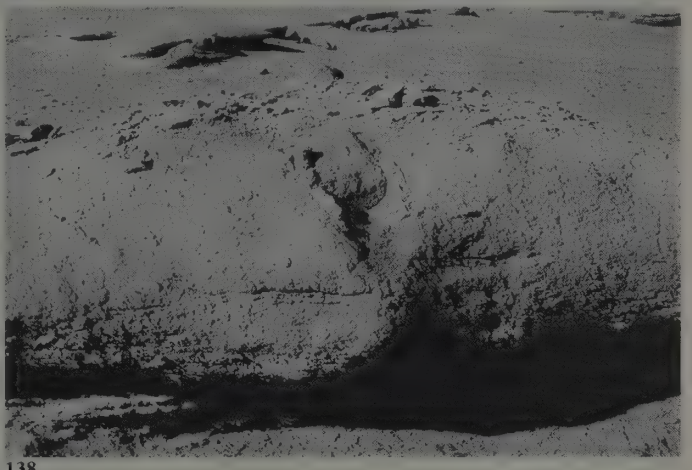
PHOTO 134. *Aïn Manawir. Hydragogue double avec conduits ronds de terre cuite.*

135

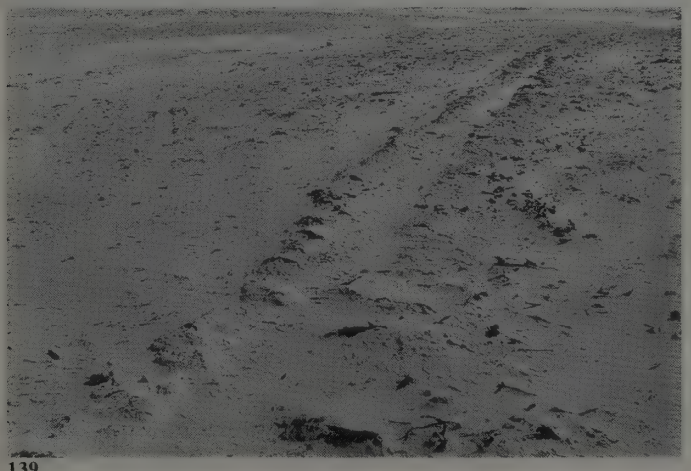
136



137



138



139

140

PHOTO 135. *Tell-Douch. Aqueduc avec blocs de calage de la conduite.*

PHOTO 136. *Aïn Manawir. Partie est. Aqueduc avec bordures de blocs.*

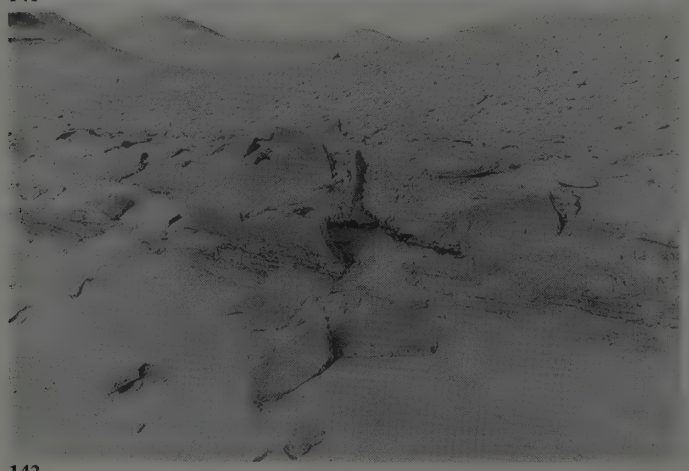
PHOTO 137. *Aïn Manawir. Support d'hydragogue perché.*

PHOTO 138. *Tell-Douch. Conduit sur tertre de débris.*

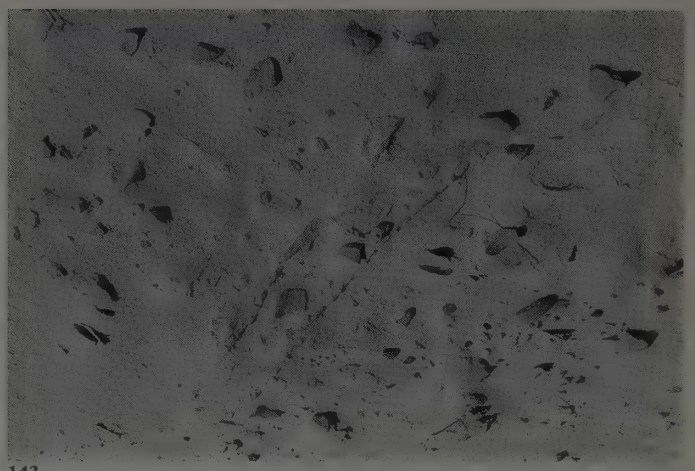
PHOTO 139. *Tell-Douch. Chenal d'amenée en bordure du parcellaire de plaine.*

PHOTO 140. *Tell-Douch. Support d'hydragogue du parcellaire de la plaine.*

141



142



143

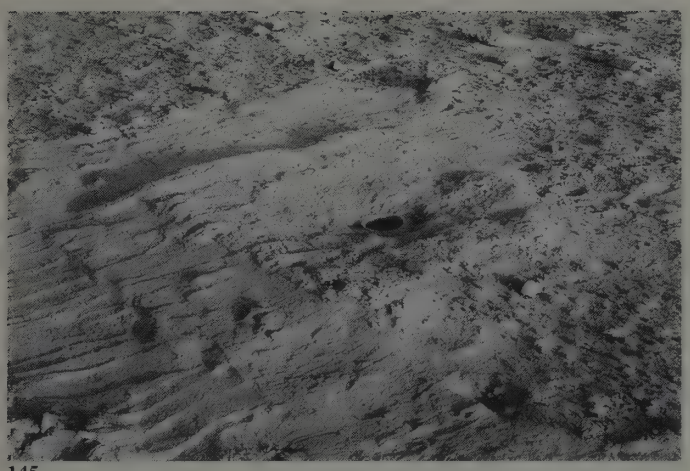
144

PHOTO 141. *Tell-Douch. Hydragogue en auge.*

PHOTO 142. *Aïn Manawir. Hydragogue à diamètre de 49 cm.*

PHOTO 143. *Tell-Douch sud. Conduits d'hydragogue avec incrustations de gypse.*

PHOTO 144. *Tell-Douch nord. Hydragogue après remaniement longeant un mur de parcellaire.*

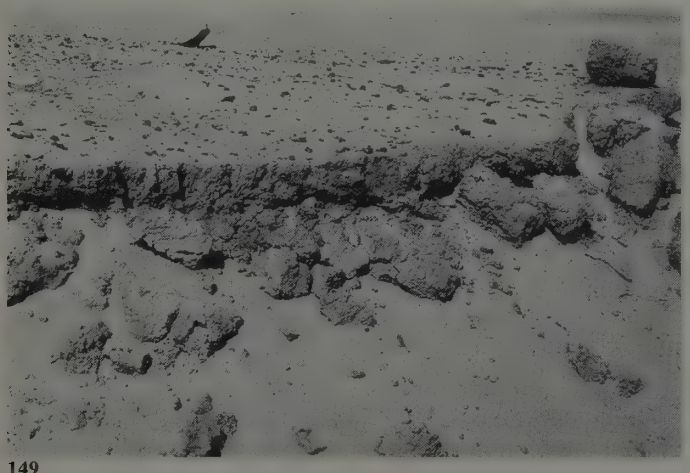


145

146

147

148



149

150

PHOTO 145. *Aïn Manawir. Irrigation par canaris ou réserve d'eau de jardin.*

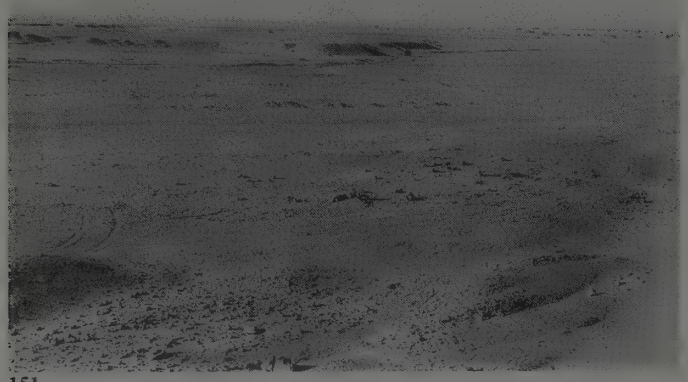
PHOTO 146. *Aïn Manawir. Vanne d'irrigation.*

PHOTO 147. *Aïn Manawir. Parcelles avec bornes d'entrée.*

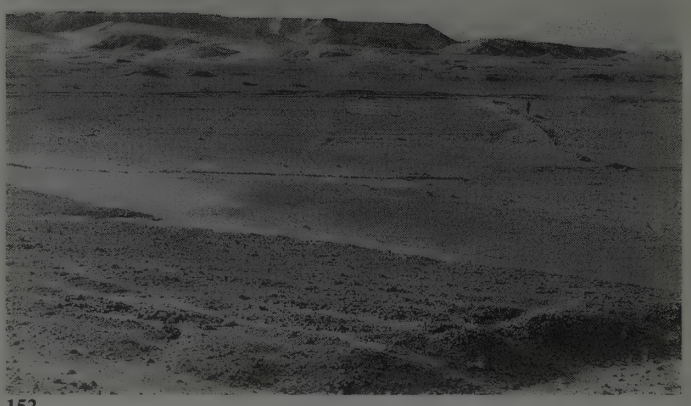
PHOTO 148. *Tell-Douch nord. Parcelle avec billons et technique de la trouaison pour l'irrigation.*

PHOTO 149. *Aïn Manawir. Parcelle et coupe de son sol cultivé.*

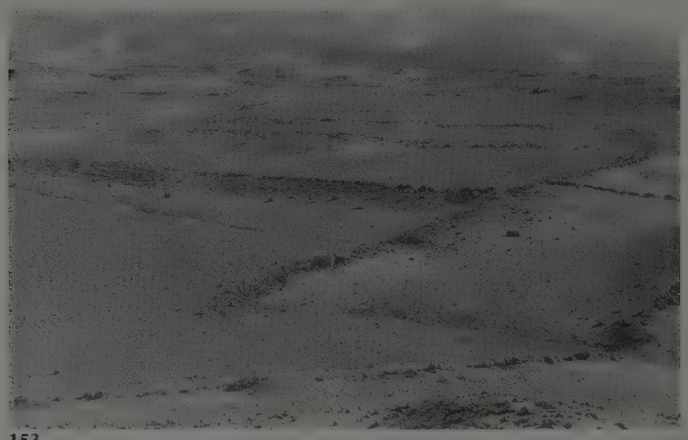
PHOTO 150. *Naqb Douch. Parcellaire de pente.*



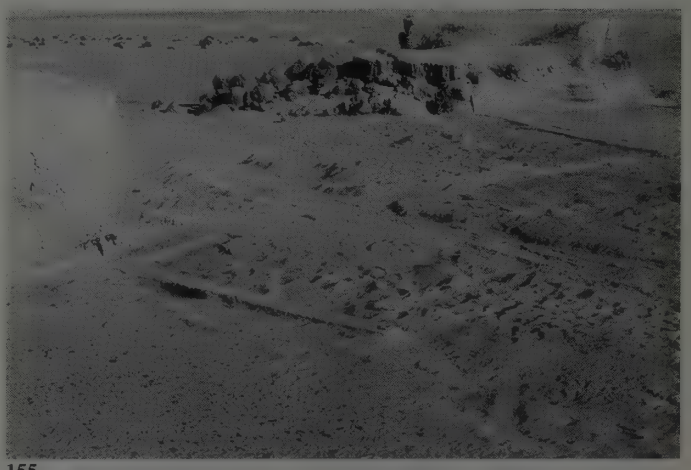
151



152



153



155

154

PHOTO 151. *Aïn Boreq. Vue générale sur le parcellaire.*

PHOTO 152. *Aïn Boreq. Vue sur les parcelles, partie aval.*

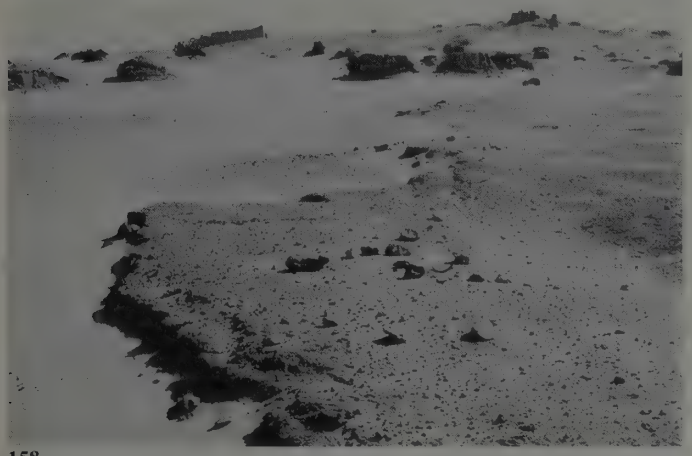
PHOTO 153. *Aïn Boreq. Vue sur le parcellaire, partie amont.*

PHOTO 154. *Aïn Boreq. Panoramique sur le parcellaire, vu de la lanière de glacis sud.*

PHOTO 155. *Tell-Douch ouest. Parcellaire de décrue.*

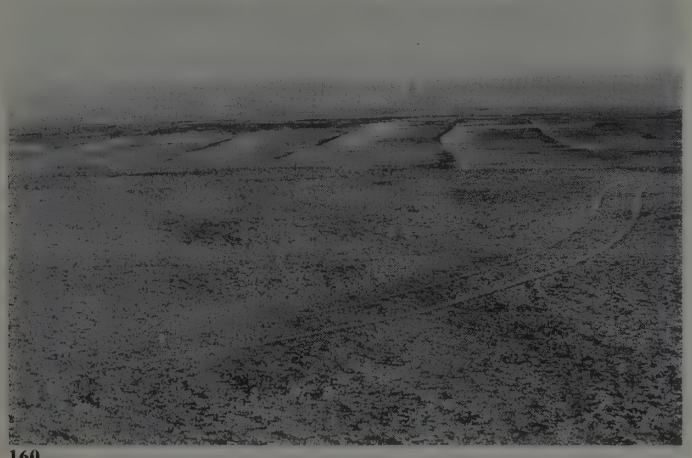
156

157



158

159



160

161

PHOTO 156. *Tell-Douch sud. Parcellaire, digues de ceinture et levées intérieures.*

PHOTO 157. *Dikura. Parcellaire ensablé.*

PHOTO 158. *Tell-Douch. Parcellaire de plaine.*

PHOTO 159. *Aïn Manawir. Terroir avec des parcelles présentant des états de surface différents. Rotation des cultures.*

PHOTO 160. *Tell-Douch nord. Parcellaire géométrique sur reg caillouteux.*

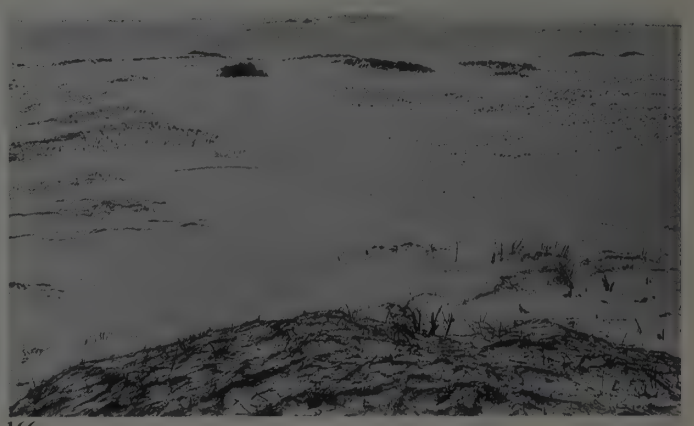
PHOTO 161. *Tell-Douch. sud. Parcellaire géométrique sur couverture caillouteuse. Irrigation par condensations occultes (?).*

162

163

164

165



166

PHOTO 162. *Dikura. Vestiges d'un parcellaire irrigué par inondation.*

PHOTO 163. *Tell-Douch nord. Casier d'irrigation ensablé avec digues.*

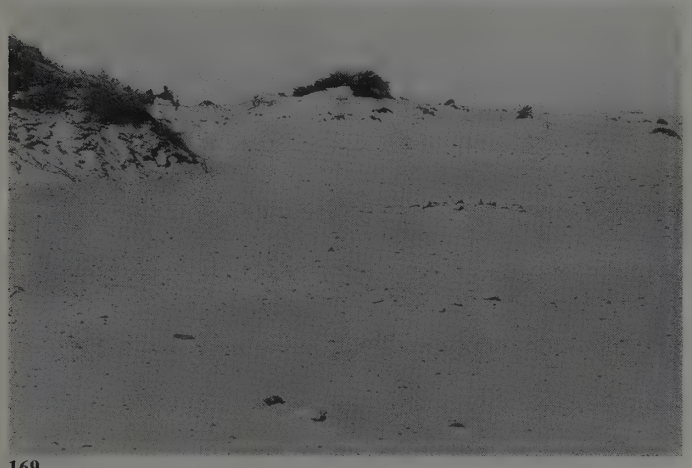
PHOTO 164. *Tell-Douch nord. Parcellaire de plaine. Ralentisseur d'eau encroûté.*

PHOTO 165. *Tell-Douch. Parcellaire nord. Cabane sur tertre.*

PHOTO 166. *Tell-Douch sud. Parcellaires enclos de murs.*

167

168



169

170

171

172

PHOTO 167. *Tell-Douch sud. Parcellaire avec ses murs de clôture et ses rebuts de sol salé.*

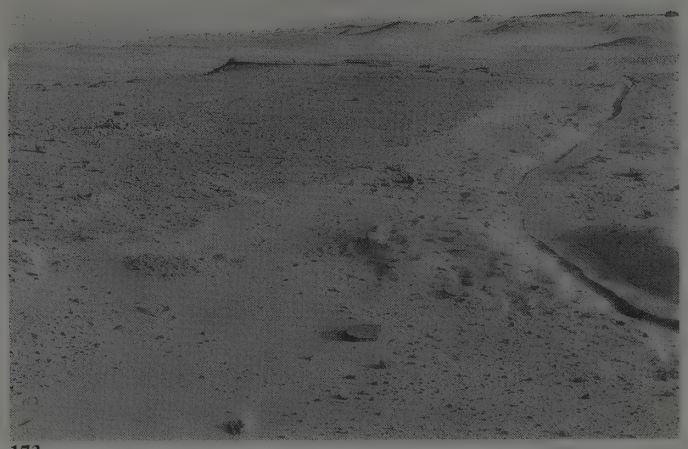
PHOTO 168. *Tell-Douch sud. Parcellaires enclos ensablés.*

PHOTO 169. *Tell-Douch sud. Puits d'irrigation des parcellaires enclos. Ensablement épais.*

PHOTO 170. *Tell-Douch sud. Parcellaire antique de puits en cours d'ensablement.*

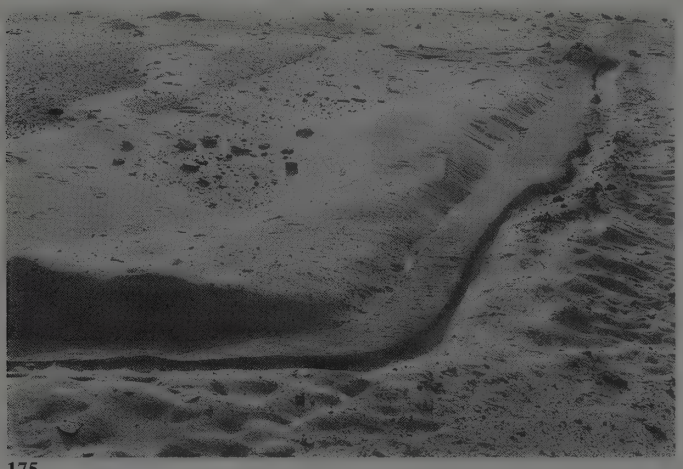
PHOTO 171. *Aïn Manawir est. Parcellaire en cours de recouvrement par une barkhane.*

PHOTO 172. *Tell-Douch. Parcelle sur nappe de cailloux en cours d'ensablement.*

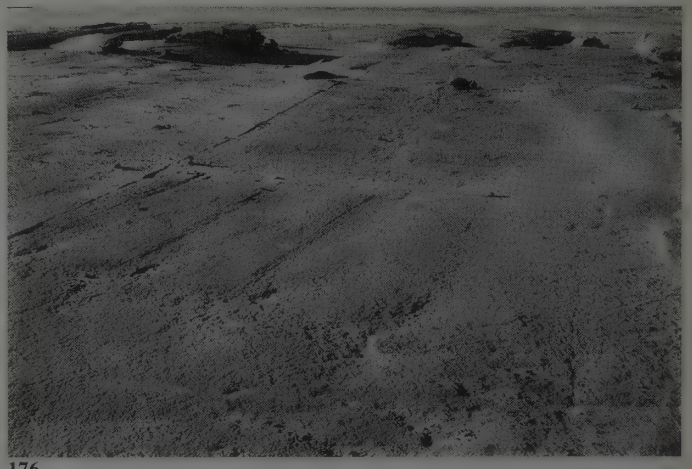


173

174



175



176

177

178

PHOTO 173. *Aïn Manawir. Parcelles avec mur de clôture et parcelles sur limon gris.*

PHOTO 174. *Aïn Manawir. Fondation du mur de clôture.*

PHOTO 175. *Aïn Manawir. Mur de clôture, secteur aval, avec vanne de sortie.*

PHOTO 176. *Tell-Douch. Parcelles des vergers d'oasis du palier de limon gris.*

PHOTO 177. *Tell-Douch. Parcelles du verger d'oasis.*

PHOTO 178. *Tell-Douch. Parcelles irriguées.*

179

181

180

182

PHOTO 179. *Tell-Douch. Parcelles et rigoles d'irrigation.*

PHOTO 180. *Tell-Douch. Levée complantée entre parcelles.*

PHOTO 181. *Tell-Douch. Emplacement d'un palmier et rigole pour son irrigation.*

PHOTO 182. *Tell-Douch. Parcelles avec rigole d'irrigation et emplacement d'un palmier. Ensablement après balayage.*

183

184

185

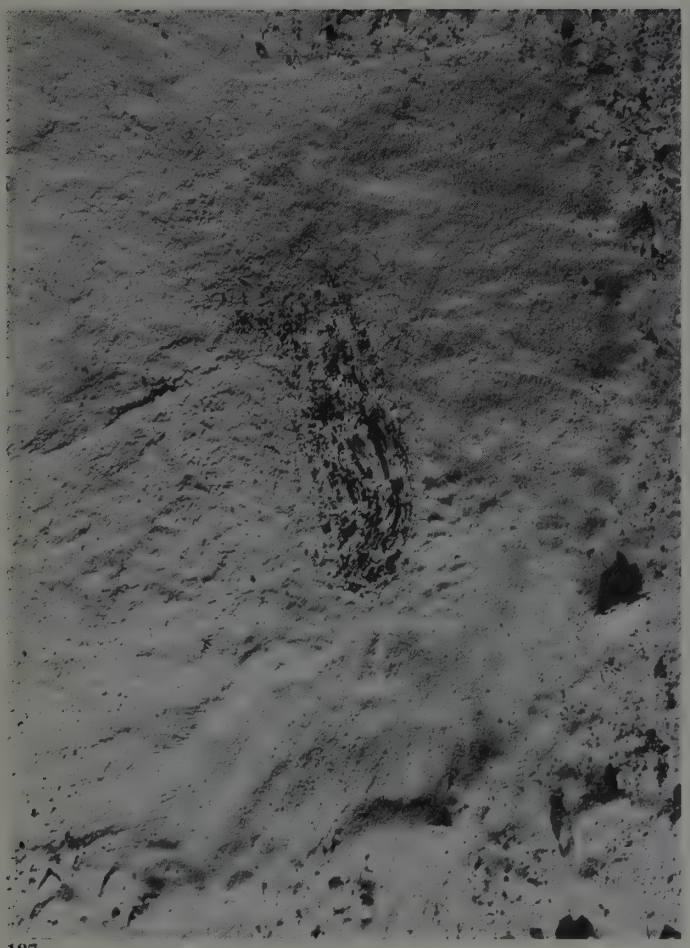
186

PHOTO 183. *Tell-Douch. Surface de parcelle. Irrigation par inondation et dessiccation de surface arrosée.*

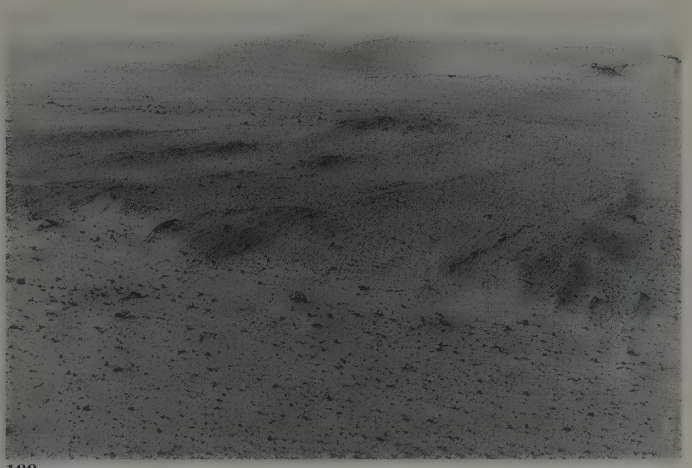
PHOTO 184. *Tell-Douch. Traces d'instrument à griffes lacérant la surface d'une parcelle.*

PHOTO 185. *Tell-Douch. Traces de pas dans le limon humide.*

PHOTO 186. *Tell-Douch. Traces de piétinement autour d'un arbre.*



187



188

189

190

191

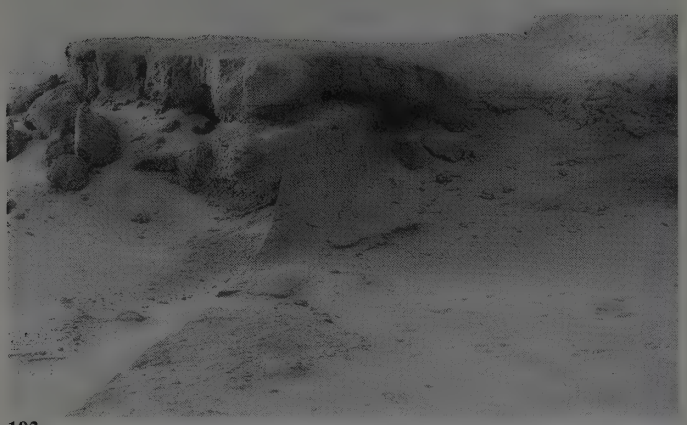
PHOTO 187. *Tell-Douch. Macro-reste d'arbre, sans doute un olivier.*

PHOTO 188. *Aïn Manawir. Parcelles dont la terre arable a été vannée par le vent.*

PHOTO 189. *Tell-Douch. Piémont. Parcelles érodées et rigoles d'arrivée d'eau.*

PHOTO 190. *Tell-Douch. Couloir de déflation aménagé avec mur effondré.*

PHOTO 191. *Tell-Douch est. Dune installée sur un hydragogue et recouverte d'un dépotoir de céramiques.*



192

193

194

195

196

PHOTO 192. *Tell-Douch ouest. Mur recouvert par une butte profilée de limon gris.*

PHOTO 193. *Tell-Douch.* Qanat *avec regards et saignée recoupant des installations antérieures.*

PHOTO 194. *Tell-Douch. Couloir de déflation et recoupement par des rigoles des fondations d'un habitat.*

PHOTO 195. *Tell-Douch ouest. Sites des foyers de plein vent datés de l'Ancien Empire.*

PHOTO 196. *Tell-Douch ouest. Crête dans laquelle est fossilisé le niveau à cendres daté de l'Ancien Empire.*

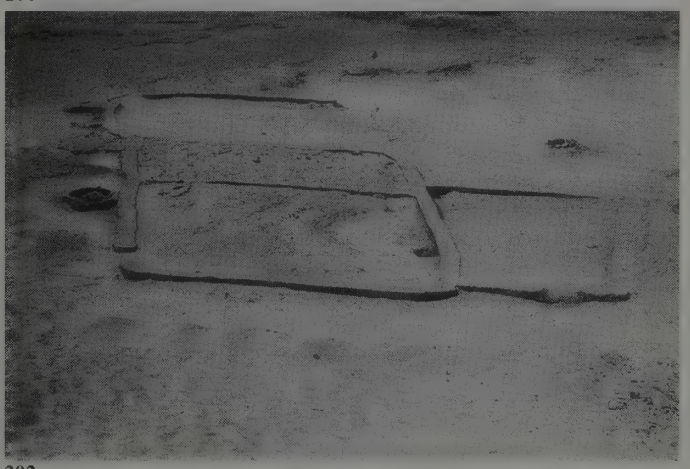
197

198

199

200

201



202

PHOTO 197. *Tell-Douch ouest. Dans le sédiment d'un placage de limon gris, vestige d'un pot daté de l'Ancien Empire (détermination Pascale Ballet, IFAO).*

PHOTO 198. *Tell-Douch. Parcelle cultivée par billons dont subsistent les fonds indurés des rigoles.*

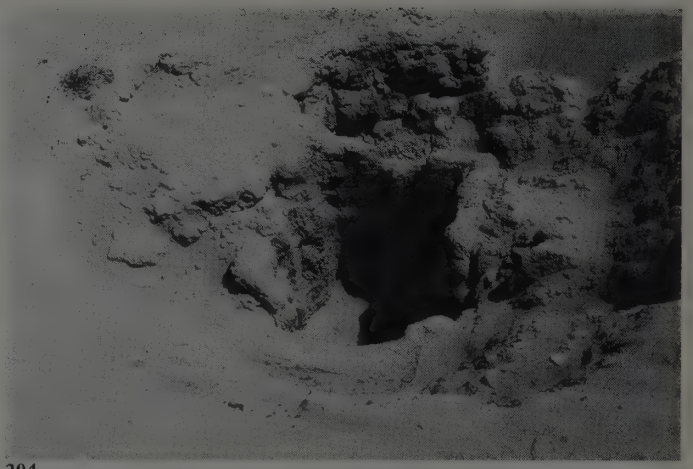
PHOTO 199. *Tell-Douch. Gourde trouvée dans la baraque nord.*

PHOTO 200. *Tell-Douch. Déflation à la surface d'un champ en jachère ; labourage à plat.*

PHOTO 201. *Oasis de Kharga. Paysage de petites oasis sur puits artésien. Sebkha, nebkas et ensablement.*

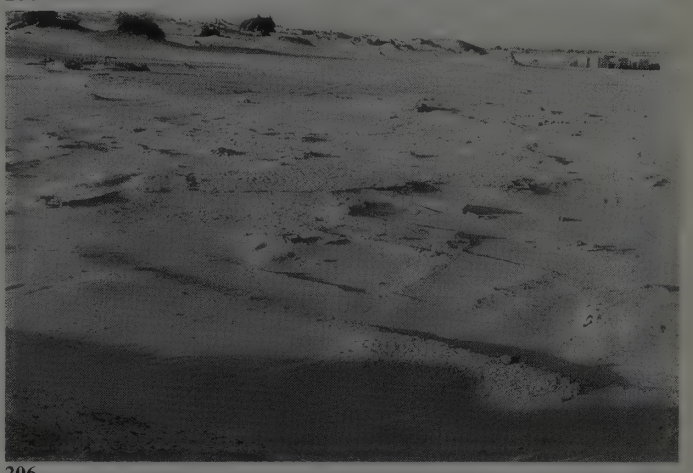
PHOTO 202. *Tell-Douch. Cabane du palier (phase démotique ?).*

203

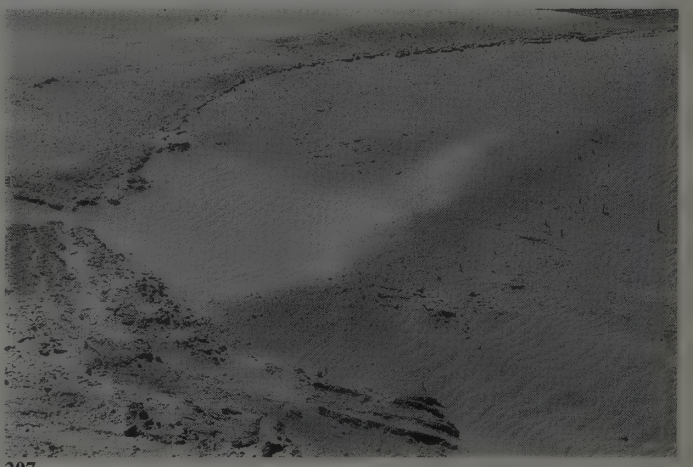


204

205



206



207

208

PHOTO 203. *Ezbet Douch. Préparation d'une parcelle. Aplanissement par la planche à brancards (goraffa) et confection à la houe des digues de bordure.*

PHOTO 204. *Tell-Douch. Puits artésien aménagé en puits, puis en regard de* qanat.

PHOTO 205. *Tell-Douch. Face nord, secteur ouest. Barrage de ravine.*

PHOTO 206. *Tell-Douch. Déflation dans un couloir face nord. Mise en relief de vestiges et destruction d'un ancien parcellaire. Érosion actuelle.*

PHOTO 207. *Dikura. Ensablement de la cuve du puits fouillé deux ans auparavant.*

PHOTO 208. *Tell-Douch. Face nord, secteur est. Cuve ronde alimentée par* qanat.

ANNEXES

SITES SUPERVISÉS

Liste 1. *Valeurs des enregistrements effectués au radiomètre en novembre 1992 et calculs des indices.*

	C1	C2	C3	XS1	XS2	XS3	IB (XS)	IB (Cimel)	IR= R2/V3	IR pour C	IC= R-V/R+V	IC pour C	Xlon
R1-1	28,1	41,2	47,3	119	135	149	179,96	49,87	0,0108	0,0765	0,0630	0,1890	810
2	27,7	42,4	48,5	121	135	151	181,29	50,65	0,0103	0,0846	0,0547	0,2097	811
3	29,3	44,8	51,2	121	139	154	184,29	53,53	0,0109	0,0798	0,0692	0,2092	812
4	27,6	41,8	47,1	120	138	154	182,88	50,09	0,0110	0,0831	0,0698	0,2046	813
5	28,1	42,6	48,9	122	139	154	184,95	51,03	0,0106	0,0818	0,0651	0,2051	814
6	28	42,7	48,5	120	138	155	182,88	51,06	0,0110	0,0831	0,0698	0,2079	815
7	27,6	41,3	46,9	120	138	153	182,88	49,67	0,0110	0,0811	0,0698	0,1988	816
8	27,4	41,5	47	120	138	154	182,88	49,73	0,0110	0,0837	0,0698	0,2046	817
9	29	43,6	49,5	119	137	151	181,47	52,36	0,0111	0,0779	0,0703	0,2011	817
10	26,5	40,8	47,1	120	136	151	181,37	48,65	0,0107	0,0895	0,0625	0,2125	819
11	27,6	42,1	48,4	121	139	154	184,29	50,34	0,0109	0,0843	0,0692	0,2080	820
12	27,9	42,6	48,5	120	136	152	181,37	50,92	0,0107	0,0836	0,0625	0,2085	819
13	27,9	42,7	48,6	121	138	155	183,53	51,01	0,0107	0,0840	0,0656	0,2096	818
14	29,6	42,2	46,1	123	136	155	183,37	51,55	0,0099	0,0687	0,0502	0,1755	817
15	17,6	28,6	45,3	121	136	153	182,04	33,58	0,0104	0,1500	0,0584	0,2381	816
16	25,9	40,1	46,1	122	136	154	182,70	47,74	0,0102	0,0926	0,0543	0,2152	815
17	19	26,6	29	120	135	153	180,62	32,69	0,0105	0,1032	0,0588	0,1667	814
18	29,7	46,1	51,7	118	133	150	177,80	54,84	0,0108	0,0811	0,0598	0,2164	813
19	27,5	41,2	46,1	118	134	146	178,55	49,53	0,0109	0,0816	0,0635	0,1994	812
20	28,5	42,8	47,8	118	132	147	177,05	51,42	0,0106	0,0791	0,0560	0,2006	811
21	28,7	43,6	49,2	120	133	148	179,13	52,20	0,0102	0,0804	0,0514	0,2061	810
22	28,9	43,4	48,8	121	135	152	181,29	52,14	0,0103	0,0780	0,0547	0,2006	809
R2-23	27,7	40,1	43,7	117	133	146	177,14	48,74	0,0110	0,0757	0,0640	0,1829	833
24	27,8	41,8	47	117	129	144	174,16	50,20	0,0104	0,0813	0,0488	0,2011	836
25	25,8	37,9	42,4	117	129	143	174,16	45,85	0,0104	0,0836	0,0488	0,1900	838
26	26,5	39,1	43,7	117	132	147	176,39	47,23	0,0109	0,0822	0,0602	0,1921	840
27	27,4	40,1	44,9	118	133	148	177,80	48,57	0,0108	0,0782	0,0598	0,1881	842
28	28	41,3	46,2	118	133	148	177,80	49,90	0,0108	0,0777	0,0598	0,1919	844
29	28,8	42,4	47,3	120	135	150	180,62	51,26	0,0105	0,0753	0,0588	0,1910	846
30	29,1	44,2	49,6	120	133	149	179,13	52,92	0,0102	0,0793	0,0514	0,2060	849
31	29,1	43,9	48,9	119	133	148	178,47	52,67	0,0105	0,0782	0,0556	0,2027	850
32	28	41,9	46,8	120	133	151	179,13	50,39	0,0102	0,0800	0,0514	0,1989	852
33	28,1	40,7	45,9	121	133	149	179,81	49,46	0,0100	0,0747	0,0472	0,1831	854
34	27,9	41,1	45,1	119	132	148	177,72	49,68	0,0103	0,0778	0,0518	0,1913	856
35	27,9	41,9	46,9	119	132	148	177,72	50,34	0,0103	0,0808	0,0518	0,2006	858
	C1	**C2**	**C3**	**XS1**	**XS2**	**XS3**	**IB (XS)**	**IB (Cimel)**	**IR= R2/V3**	**IR pour C**	**IC= R-V/R+V**	**IC pour C**	**Xlon**

	C1	C2	C3	XS1	XS2	XS3	IB (XS)	IB (Cimel)	IR= R2/V3	IR pour C	IC= R-V/R+V	IC pour C	Xlon
R2-36	28,9	43,1	48,9	119	131	145	176,98	51,89	0,0102	0,0770	0,0480	0,1972	862
37	28,3	42,1	47,3	118	131	148	176,31	50,73	0,0104	0,0782	0,0522	0,1960	865
38	29,6	45,1	50,5	121	133	152	179,81	53,95	0,0100	0,0784	0,0472	0,2075	868
39	33,8	48,3	52,9	119	129	146	175,50	58,95	0,0099	0,0604	0,0403	0,1766	869
40	26,2	39	43,7	116	126	141	171,27	46,98	0,0102	0,0846	0,0413	0,1963	871
41	26,6	39,5	44	118	127	144	173,36	47,62	0,0098	0,0829	0,0367	0,1952	873
42	28,5	44,5	50,5	115	131	144	174,32	52,84	0,0113	0,0855	0,0650	0,2192	875
R3-43	36,8	43,9	47,2	115	116	135	163,34	57,28	0,0088	0,0387	0,0043	0,0880	725
44	23,4	36,8	42,9	111	118	137	162,00	43,61	0,0102	0,1057	0,0306	0,2226	729
45	25,1	38	44,2	111	123	137	165,68	45,54	0,0111	0,0913	0,0513	0,2044	731
46	23,9	36,3	42,7	112	127	139	169,33	43,46	0,0115	0,0965	0,0628	0,2060	733
47	25,9	38,4	44	111	121	134	164,20	46,32	0,0107	0,0849	0,0431	0,1944	735
48	23,3	35	40,2	112	120	135	164,15	42,05	0,0102	0,0968	0,0345	0,2007	737
49	23,6	34,9	39,6	113	120	137	164,83	42,13	0,0100	0,0927	0,0300	0,1932	739
50	24,3	35,8	41,4	111	121	136	164,20	43,27	0,0107	0,0893	0,0431	0,1913	741
51	23,4	34,9	41,2	111	121	135	164,20	42,02	0,0107	0,0951	0,0431	0,1973	743
52	23,4	34,5	40	111	120	135	163,47	41,69	0,0105	0,0929	0,0390	0,1917	745
53	24,3	35,6	40,8	111	120	135	163,47	43,10	0,0105	0,0883	0,0390	0,1886	747
54	24,6	36,6	41,5	112	120	135	164,15	44,10	0,0102	0,0900	0,0345	0,1961	749
55	24,3	36	41,7	112	123	136	166,35	43,43	0,0108	0,0903	0,0468	0,1940	751
56	25,5	36,8	42,7	112	121	135	164,88	44,77	0,0104	0,0817	0,0386	0,1814	753
57	33,5	46,5	52,5	115	123	140	168,39	57,31	0,0099	0,0575	0,0336	0,1625	755
58	27,8	40	45,1	111	119	134	162,73	48,71	0,0104	0,0745	0,0348	0,1799	757
59	23,4	33,5	37,9	109	119	131	161,38	40,86	0,0109	0,0876	0,0439	0,1775	759
60	22,8	31,1	35,1	109	119	133	161,38	38,56	0,0109	0,0816	0,0439	0,1540	761
61	24,4	36,1	41,6	109	118	132	160,64	43,57	0,0108	0,0897	0,0396	0,1934	763
62	24,3	36,7	43,1	110	120	135	162,79	44,02	0,0108	0,0939	0,0435	0,2033	765
63	24,5	35,8	40,9	111	118	134	162,00	43,38	0,0102	0,0872	0,0306	0,1874	767
64	24,8	37	42,5	111	119	136	162,73	44,54	0,0104	0,0898	0,0348	0,1974	769
65	22,2	34,1	41,1	106	118	132	158,62	40,69	0,0117	0,1063	0,0536	0,2114	770

	C1	C2	C3	XS1	XS2	XS3	IB (XS)	IB (Cimel)	IR= R2/V3	IR pour C	IC= R-V/R+V	IC pour C	Xlon
0,78	0,055	régression linéaire IB(XS) → IB(Cimel)											
0,31	4,235	régression linéaire IB(Cimel) → IB(XS)											
0,01	0,154	régression linéaire J → K											
11	0,148	régression linéaire K → J											
0,37	1E-04	régression linéaire L → M											
0,82	568,2	régression linéaire M → L											

Liste 2. *Caractéristiques et positions des cibles.*

Ylat	X°lon	Y°lat	Description sommaire
1133	3043368	2435125	sable fin à pavage de sable + grossier. déflation de flanc de dune végétalisée
1133	387	128	sable ocre à ripples marks
1133	395	126	sable ocre fin à ripples marks
1133	401	124	sable ocre fin à ripples marks
1133	412	123	sable ocre fin à ripples marks
1133	419	120	sable ocre fin à ripples marks
1133	425	118	déflation-traîne-sable à pavage + grossier
1133	431	117	sable fin à ripples marks
1133	438	116	sable fin ocre sur limon gris et pavage de cailloux
1133	449	114	sable ocre fin à ripples marks
1133	457	112	sable à ripples marks et pavage dispersé
1130	3043437	2435136	sable ocre à ripples marks peu accentués
1130	429	137	sable ocre à ripples marks
1130	420	140	croûte pelliculaire sur sable ocre - microtopographie
1130	416	143	nebkha sur sable ocre à ripples marks
1130	409	143	sable ocre à ripples marks + touffes de végétation sèche
1130	395	140	long bourrelet avec pavage caillouteux bruns et galets quartz un peu de sable
1130	393	145	sable ocre à fins ripples marks et touffes de végétation
1130	384	147	sable ocre à ripples marks plus larges
1130	376	153	sable ocre à ripples marks plus larges
1130	363	153	sable ocre à ripples marks plus larges - léger dôme
1130	355	152	sable ocre à ripples marks et léger pavage de sable
1128	3043547	2435105	bourrelet avec épandage cailloux de silex bigarrés et patinés avec sable ocre
1128	562	107	microcuvettes à bourrelets caillouteux avec sable ocre au centre reposant sur argilite bleue
1128	576	99	microbourrelet dissymétrique avec pavage éolien fin et cailloux patinés dispersés
1128	595	105	sable ocre, cailloux patinés dispersés et pavage fin sableux moyen
1128	3044006	106	trace déflation avec fin pavage de sable moyen
1128	22	96	léger bourrelet sable ocre + cailloux à patine
1128	38	100	sable ocre à ripples marks + cailloux
1128	54	88	sable + silex
1128			sable ocre + silex dispersés et fin pavage de sable moyen
1128			sable ocre
1128			sable + trace déflation
1127			sable + trace déflation, fin pavage sable moyen
1127			sable ocre + silex - surface plane
Ylat	**X°lon**	**Y°lat**	

Ylat	X°lon	Y°lat	Description sommaire
1127			sable ocre + silex - surface plane
1127			sable ocre lisse - cailloux dispersés
1127			sable ocre lisse - fin pavage de sable moyen + quelques cailloux - flanc d'un bourrelet
1127	189	106	croûte avec sable ocre - gypse - relief
1127	204	109	sable ocre fin, sable moyen en pavage - gravillons très dispersés
1127	218	109	sable lisse fond de cuvette
1127	233	109	sable ocre à ripples marks pied de dune
1139	2435183	3042352	nécropole - surface structurale d'argilite grise
1140	175	363	pied nécropole - sable ocre avec tesson et pavage sable moyen
1141	167	377	contrebas abrupt nécropole - cuvette éolienne à couronne graviers et centre sable ocre
1142	160	392	sable ocre à pavage de sables grossiers patinés
1142	153	405	sable fin pavage éolien avec gros graviers patinés et dispersés
1143	146	421	sable fin pavage éolien avec gros graviers plus dispersés
1144	139	435	sable fin ornières voitures
1144	131	451	sable ocre fin avec pavage éolien de surface sable moyen et petits graviers très dispersés
1145	122	466	sable avec pavage éolien en surface + quelques cailloux
1146	121	475	sable fin avec pavage éolien et moins de sables moyens
1146	113	493	sable fin avec pavage éolien + tessons dispersés, cailloux
1147	109	502	piste sur argilite - sable à pavage de surface
1148	102	519	sable à pavage éolien sur croûte fine
1148	94	537	sable fin à pavage éolien en contrebas de la croûte du tell - tessons + cailloux dispersés
1149	85	553	croûte à microtopo, et sable ocre à fin pavage éolien en contrebas des parcellaires
1150	84	564	limite amont croûte et sable reposant sur limon gris des parcellaires + tessons + cailloux dispersés
1150			limon gris des parcellaires avec sable tessons et cailloux sombres
1151			surface limon gris avec dispersion de tessons, graviers et petites rides de sable ocre
1152			parcellaire recouvert de sable fin à pavage éolien fin + tessons + petits cailloux dispersés
1153			accumulation sableuse à fin pavage éolien en bas de la pente du tell
1153			bas de pente du tell sable avec tesson, cailloux, lamelles de limon
1154	2435043	3043580	petites rides proximité dune, pavage fin sur sable fin
1154	2435042	3043670	dune - sable très fin avec végétation dispersée + ripples marks
Ylat	**X°lon**	**Y°lat**	

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. *Localisation de la région de Tell-Douch dans la dépression de Kharga.*

Fig. 1 bis. *Localisation des parcellaires antiques et des sites archéologiques.*

Fig. 2. *Lithologie de l'embayment de Baris et de la région de Tell-Douch.*

Fig. 3. *Carte géologique et perméabilité.*

Fig. 4. **A.** *L'ombilic structural de la région sud de Kharga.*
B. *Perméabilité des séries sédimentaires.*

Fig. 5. *Morphologie et figures tectoniques dans la zone de décrochement.*

Fig. 6. *La disposition morphotectonique des buttes de l'embayment de Baris.*

Fig. 7. *Le linéament guinéo-nubien.*

Fig. 8. *Coupes et évolution de la dépression de Kharga.*

Fig. 9. *Le compartimentage hydrogéologique. Rythmes mésologiques et géotechniques.*

Fig. 10. *Fluctuations des nappes dans le temps.*

Fig. 11. *Le système éco-géographique.*

Fig. 12. *L'assèchement des nappes dans le temps.*

Fig. 13. *Carte géomorphologique de la région de Tell-Douch.*

Fig. 14. *Relevés hygrométrie, températures, pression, novembre 1992.*

Fig. 15. *Le système des dunes.*

Fig. 16. *L'écoulement éolien entre les dunes.*

Fig. 17. *Schéma d'une barkhane et ses caractéristiques.*

Fig. 18. *Bilan de l'évolution des barkhanes sur 16 mois.*

Fig. 19. *Dynamique éolienne et emplacement des parcellaires.*

Fig. 20. *Les buttes profilées et leurs différents types.*

Fig. 21. *Les différentes familles de faciès de limon gris à Tell-Douch.*

Fig. 22. *Les faciès boueux des puits artésiens.*

Fig. 23. *Le modelé. Répartition des formes et des formations superficielles.*

Fig. 24. *Les différents types d'installations hydrauliques.*

Fig. 25. *Plan des installations hydrauliques à Dikura (relevé Ch. Braun).*

Fig. 26. *Plan de la citerne à escaliers de Dikura (relevé Ch. Braun).*

Fig. 27. *Coupe de la galerie de la* qanat *à tranchées de Dikura (relevés Ch. Braun).*

Fig. 28. *Coupe de la fosse du* qanat *de Tell-Douch (relevé Ch. Braun).*

Fig. 29. *Dikura. Plan général des différentes installations hydrauliques (relevé Ch. Braun).*

Fig. 30. *Dikura. Plan du* qanat *ouest (relevé Ch. Braun).*

Fig. 31. *Plan du* qanat *de Tell-Douch est (relevé Ch. Braun).*

Fig. 32. *Tell-Douch. Plan du palier nord (relevé Ch. Braun).*

Fig. 33. *Plan du* qanat *à fosse de Tell-Douch (relevé Ch. Braun).*

Fig. 34. *Les différents types de* qanat.

Fig. 35. *Le parcellaire d'Aïn Boreq (relevé M. Beuniche et Ch. Braun).*

Fig. 36. *Espace-temps de l'irrigation.*

Fig. 37. *Aïn Ziyada. Plan du réseau des* qanawat *(relevé Ch. Braun).*

Fig. 38. *Plan d'un parcellaire de plaine (relevé Ch. Braun).*

Fig. 39. *Plan de deux habitats du parcellaire du puits en plaine à Tell-Douch. (relevé B. Bousquet et M. Robin).*

Fig. 40. *Plan du parcellaire à casiers d'irrigation (relevé B. Bousquet).*

Fig. 41. *Plan des vergers d'oasis de Tell-Douch (relevé Ch. Braun).*

Fig. 42. *Mur d'un enclos d'Aïn Manawir (dessin F. Traunecker).*

Fig. 43. *Répartition des parcellaires antiques.*

Fig. 44. *Les sites de l'Ancien Empire à Tell-Douch.*

Fig. 45. *Le paysage d'une oasis et la disposition des plantes.*

Fig. 46. *Graphe des dommages.*

Fig. 47. *Plan d'un arbre de défiance.*

Fig. 48. *Arbre de défiance du circuit hydraulique.*

Fig. 49. *Relations entre* qanawat, *puits et parcellaires à Tell-Douch. Modèle d'éco-organisation d'une oasis avec relief.*

Fig. 50. *Toparchie de Kysis. Nature de ses territoires et localisation de leurs caractéristiques.*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. *Le modelé. Formes et formations.*

Tableau 2. *Les sédiments éoliens.*

Tableau 3. *Chronologie des formations superficielles.*

Tableau 4. *Déroulement des périodes et de leurs phases et séquences.*

Tableau 5. *Les types d'ouvrages.*

Tableau 6. *Récapitulatif des caractéristiques.*

Tableau 7. *L'irrigation.*

Tableau 8. *Le parcellaire d'Aïn Boreq.*

Tableau 9. *Les casiers du parcellaire d'Aïn Boreq.*

Tableau 10. *Les facteurs de l'éco-géographie à Tell-Douch.*

Tableau 11. *Le bilan éco-géographique.*

Tableau 12. *Localisation des installations hydrauliques dans le territoire de Kysis devenu un espace de danger.*

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1. *Tell-Douch. Panorama, extrémité ouest.*

Photo 2. *Tell-Douch. Panorama palier de limon gris aménagé en parcellaires, secteur central.*

Photo 3. *Naqb Douch. Panorama sur la corniche de l'entablement inférieur.*

Photo 4. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres, face nord, secteur est. Cordon de barkhanes.*

Photo 5. *Tell-Douch. Palier des parcellaires verger d'oasis, face nord, secteur est.*

Photo 6. *Ezbet Douch. Parcelles actuelles cultivées : maïs et billons.*

Photo 7. *Tell-Douch sud. Puits d'irrigation ensablé.*

Photo 8. *Aïn Ziyada. Bas du revers sud et puits d'Aïn Ziyada dans la plaine.*

Photo 9. *Aïn Ziyada, flanc est, secteur nord. Tertres phytogéniques et regards de* qanat.

Photo 10. *Aïn Manawir. Site vu de la barkhane n° 20.*

Photo 11. *Dikura. Face nord, extrémité est. Nebkas et tertres phytogéniques.*

Photo 12. *Aïn Boreq. Hydragogue amont et parcellaire d'oued.*

Photo 13. *Tell-Douch. Face nord. Fosse du* qanat *ouest. Stratigraphie de l'ensablement.*

Photo 14. *Tell-Douch. La crête faîtière. Érosion différentielle.*

Photo 15. *Aïn Ziyada, face nord, secteur ouest. Crête faîtière et butte profilée.*

Photo 16. *Aïn Manawir. Barkhanes et dykes d'imprégnations ferrugineuses dans les limons gris au premier plan.*

Photo 17. *Piémont. Formation de Dakhla. Glacis étagés, dissection et ensablement actuel.*

Photo 18. *Naqb Douch. Écroulement de la corniche inférieure.*

Photo 19. *Aïn Ziyada. Crête faîtière. Dykes de faille et yardangs.*

Photo 20. *Piémont et embayment de Baris. Vus de la corniche du Naqb Douch, les glacis et leur dissection.*

Photo 21. *Naqb Douch. Entablement inférieur, corniche d'écroulement, talus à ravins, piémont détritique*

Photo 22. *Piémont. Lit d'oued servant de lit d'écoulement éolien.*

Photo 23. *Piémont. Ravine et rigole de versant. Cône de déjection et lit d'oued.*

Photo 24. *Naqb Douch vu d'Aïn Ziyada. Dunes d'accumulation et nebkas.*

Photo 25. *Plaine de Douch. Reg sableux. Quartz des grès de Taref.*

Photo 26. *Piémont. Reg caillouteux d'un lit d'oued du piémont.*

Photo 27. *Naqb Douch. Replat structural. Rainuration du calcaire par la corrasion éolienne.*

Photo 28. *Naqb Douch. Front tectonique. Roche broyée et yardang dans le substrat.*

Photo 29. *Naqb Douch. Surface d'un glacis. Reg caillouteux.*

Photo 30. *Naqb Douch. Surface d'un glacis. Lit d'écoulement éolien et sa trace au sol par lustrage des cailloux.*

Photo 31. *Dikura. Les limons gris et la polygonisation du matériel.*

Photo 32. *Tell-Douch. Parcellaire de plaine. Érosion des parcelles.*

Photo 33. *Dikura. Nebkas et ensablement des parcellaires. Couloirs de déflation.*

Photo 34. *Dikura. Nebkas, plaine nord.*

Photo 35. *Piémont. Incision linéaire et ensablement.*

Photo 36. *Barkhane. Face sous le vent et loupes de glissement du sable.*

Photo 37. *Barkhane. Face sous le vent. Implantation d'un repère d'ensablement.*

Photo 38. *Barkhane. Face sous le vent. Repère ensablé après trois jours de vent.*

Photo 39. *Tell-Douch. Remplissage du tunnel du* qanat *nord.*

Photo 40. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres de type iranien recouverte par le sable.*

Photo 41. *Piémont. Dissection et dépôt de pente.*

Photo 42. *Piémont. Nappe détritique sur substrat argileux.*

Photo 43. *Piémont. Ravinement sur versant de raccord de glacis.*

Photo 44. *Piémont. Nappe caillouteuse et entablement dans la couverture légèrement indurée. Versant à dépôt.*

Photo 45. *Naqb Douch. Corniche avec écroulement catastrophique discordant sur une couverture détritique de glacis.*

Photo 46. *Naqb Douch. Couverture de glacis et versants de raccord. Emboîtement recouvert par l'écroulement. Ravinement et ensablement ultérieurs.*

Photo 47. *Naqb Douch. Piémont. Le système étagé des glacis et lit d'oued.*

Photo 48. *Plaine de Douch. Glacis dans les schistes de Quseir. Dissection incipiente et ensablement.*

Photo 49. *Piémont. Lit d'oued et basse terrasse.*

Photo 50. *Tell-Douch. Croûte de gypse.*

Photo 51. *Tell-Douch ouest. Parcelles en cours de destruction par le vent.*

Photo 52. *Tell-Douch est. Parcellaire antique dont les digues sont recouvertes d'une croûte.*

Photo 53. *Dikura. Yardangs, buttes profilées et couloirs de déflation.*

Photo 54. *Aïn Ziyada. Buttes profilées dans les limons gris, couloir de déflation et regard de* qanat.

Photo 55. *Aïn Ziyada. Les deux systèmes sédimentaires des limons gris.*

Photo 56. *Aïn Ziyada. Butte profilée et faciès à polygones de dessiccation.*

Photo 57. *Aïn Ziyada. Les deux systèmes et leurs faciès respectifs.*

Photo 58. *Tell-Douch. Butte profilée recouvrant une surface avec tessons.*

Photo 59. *Tell-Douch, extrémité ouest. Buisson de steppe fossilisé à la limite des deux systèmes du limon gris.*

Photo 60. *Tell-Douch. Formation à silex laiteux en inversion de relief et cuvettes de déflation ensablées.*

Photo 61. *Dikura. Bassin de source artésienne.*

Photo 62. *Tell-Douch, secteur est. Puits artésien et sa cuve ensablée.*

Photo 63. *Tell-Douch, secteur est. Faciès d'imbibition par montée artésienne diffuse.*

Photo 64. *Dikura. Bouche de puits artésien encadrée par des dunes.*

Photo 65. *Dikura. Puits artésien en vasque.*

Photo 66. *Dikura. Dunes de puits artésien, perchées sur une plate-forme.*

Photo 67. *Dikura. Puits artésien à remplissages successifs et niveaux de calcination.*

Photo 68. *Dikura. Puits artésien, cône et cuve.*

Photo 69. *Dikura. Langue sableuse et puits artésien.*

Photo 70. *Dikura. Puits artésien aménagé en point d'eau.*

Photo 71. *Dikura. Ejecta de puits et mottes façonnées.*

Photo 72. *Tell-Douch, nord. Puits d'irrigation, chenal d'évacuation et parcellaire de puits avec digue de ceinture.*

Photo 73. *Dikura. Citerne à escalier creusée dans les limons gris.*

Photo 74. *Aïn Manawir. Face nord.* Qanat *à tertres de type iranien, secteur amont.*

Photo 75. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres et son recouvrement par une barkhane.*

Photo 76. *Aïn Manawir.* Qanat *à tertres et versant nord.*

Photo 77. *Dikura.* Qanat *à tertres et regard d'accès ensablé.*

Photo 78. *Dikura sud.* Qanat *à tertres.*

Photo 79. *Aïn Ziyada. Versant sud.* Qanat *à tertres.*

Photo 80. *Aïn Ziyada. Tertres de* qanat *et ensablement.*

Photo 81. *Aïn Ziyada. Tertres de* qanat *et tête de puits.*

Photo 82. *Dikura. Tertre de* qanat *et alignement de buttes profilées à regards.*

Photo 83. *Dikura.* Qanat *sans tertres.*

Photo 84. *Dikura ouest. Tertre de* qanat, *regard et saignée avec son recouvrement de briques.*

Photo 85. *Dikura ouest. Tertre à regard.*

Photo 86. *Dikura ouest. Tertre avec deux regards.*

Photo 87. *Aïn Ziyada. Regard de* qanat *sur butte profilée.*

Photo 88. *Aïn Ziyada. Cheminée d'un regard encastré dans son tertre d'éjecta.*

Photo 89. *Aïn Ziyada. Ejecta en mur d'un regard de* qanat.

Photo 90. *Tell-Douch.* Qanat *du versant nord. Fosse à paliers et tunnel ensablé.*

Photo 91. *Dikura. Regard de* qanat *obturé.*

Photo 92. *Tell-Douch.* Qanat *nord. Galerie souterraine ensablée (phot. Michel Reddé).*

Photo 93. *Dikura. Regard circulaire à bourrelet d'argile.*

Photo 94. *Dikura. Couronnement de briques d'un regard carré. Éolisation des briques.*

Photo 95. *Dikura. Cheminée d'accès sur façonnement en tertre.*

Photo 96. *Aïn Ziyada. Regard dans un terrassement de mottes.*

Photo 97. *Aïn Ziyada. Regard et cheminée d'accès avec façonnement sur un ancien puits.*

Photo 98. *Aïn Ziyada. Cheminée d'accès et regard rectangulaire.*

Photo 99. *Dikura. Tranchée recoupant une mince couche de limon gris et grès de Taref en support (phot. Michel Reddé).*

Photo 100. *Dikura. Tranchée recouverte de brique et regard en amont.*

Photo 101. *Dikura. Tranchée recouverte d'un* opus incertum *et regard.*

Photo 102. *Dikura. Galerie souterraine et enduit (mouna).*

Photo 103. *Dikura.* Qanat *à tranchées ensablées, sans tertres, ni maçonnage.*

Photo 104. *Dikura. Arrivée d'une saignée de* qanat *dans une cuve de puits. Type de* qanat-*puits. Mur hydraulique.*

Photo 105. *Dikura.* Qanat *et saignée aval avec diffluent.*

Photo 106. *Tell-Douch.* Qanat *est. Aqueduc aval avant la fouille. Bâtisse du temple et du grenier fortifié à l'arrière plan.*

Photo 107. *Tell-Douch.* Qanat *est. Tertres aval, aqueduc ensablé et dunes sur l'hydragogue.*

Photo 108. *Tell-Douch.* Qanat *est. Dégagement des tertres avec regard et chenal sous voûte de briques.*

Photo 109. *Tell-Douch.* Qanat *est. Les tertres et les regards.*

Photo 110. *Tell-Douch.* Qanat *est. Regard avec couronnement de fausses briques.*

Photo 111. *Tell-Douch.* Qanat *est. Regard sur voûte de briques masquant une saignée.*

Photo 112. *Tell-Douch.* Qanat *est. Regard avec voûte triangulaire.*

Photo 113. *Tell-Douch.* Qanat *est. Intérieur de la galerie avec voûte triangulaire.*

Photo 114. *Tell-Douch.* Qanat *est. Aqueduc aval avec levées de blocs.*

Photo 115. *Tell-Douch.* Qanat *est. Aqueduc avec bordures de blocs et reste d'une couverture en briques de la saignée.*

Photo 116. *Tell-Douch. Façade est. Bossellements liés aux tertres des* qanawat.

Photo 117. *Tell-Douch.* Qanat *nord, secteur est. Vue générale vers l'aval.*

Photo 118. *Tell-Douch.* Qanat *à fosse nord, secteur central. Extrémité aval. À l'arrière plan, sous le temple en briques, tête du* qanat.

Photo 119. *Tell-Douch.* Qanat *à fosses nord. Conduit en place pour le drainage de la galerie souterraine.*

Photo 120. *Tell-Douch nord.* Qanat *à fosses, secteur aval.*

Photo 121. *Tell-Douch.* Qanat *nord. Extrémité aval avec trace de l'hydragogue.*

Photo 122. *Tell-Douch. Puits obturé, utilisé auparavant pour un* qanat *comme regard d'accès.*

Photo 123. *Dikura.* Qanat *sur un alignement de buttes profilées.*

Photo 124. *Dikura. Puits avec chenal d'évacuation sous forme de galerie de* qanat.

Photo 125. *Dikura.* Qanat *abandonné et puits avec chenal d'évacuation.*

Photo 126. *Aïn Ziyada. Versant sud. Réservoir avec hydragogue et parcellaires ensablés.*

Photo 127. *Dikura. Parcellaire mis au jour par migration de la barkhane.*

Photo 128. *Dikura. Trace d'hydragogue ensablé.*

Photo 129. *Tell-Douch. Versant sud. Le système des* qanawat.

Photo 130. *Tell-Douch. Versant sud.* Qanat *de type kysite.*

Photo 131. *Tell-Douch.* Qanat *de type kysite à fosse.*

Photo 132. *Tell-Douch. Secteur nord. Pot dans un bassin aménagé. Irrigation par canaris.*

Photo 133. *Tell-Douch. Secteur nord. Hydragogue en auge.*

Photo 134. *Aïn Manawir. Hydragogue double avec conduits ronds de terre cuite.*

Photo 135. *Tell-Douch. Aqueduc avec blocs de calage de la conduite.*

Photo 136. *Aïn Manawir. Partie est. Aqueduc avec bordures de blocs.*

Photo 137. *Aïn Manawir. Support d'hydragogue perché.*

Photo 138. *Tell-Douch. Conduit sur tertre de débris.*

Photo 139. *Tell-Douch. Chenal d'amenée en bordure du parcellaire de plaine.*

Photo 140. *Tell-Douch. Support d'hydragogue du parcellaire de la plaine.*

Photo 141. *Tell-Douch. Hydragogue en auge.*

Photo 142. *Aïn Manawir. Hydragogue à diamètre de 49 cm.*

Photo 143. *Tell-Douch sud. Conduits d'hydragogue avec incrustations de gypse.*

Photo 144. *Tell-Douch nord. Hydragogue après remaniement longeant un mur de parcellaire.*

Photo 145. *Aïn Manawir. Irrigation par canaris ou réserve d'eau de jardin.*

Photo 146. *Aïn Manawir. Vanne d'irrigation.*

Photo 147. *Aïn Manawir. Parcelles avec bornes d'entrée.*

Photo 148. *Tell-Douch nord. Parcelle avec billons et technique de la trouaison pour l'irrigation.*

Photo 149. *Aïn Manawir. Parcelle et coupe de son sol cultivé.*

Photo 150. *Naqb Douch. Parcellaire de pente.*

Photo 151. *Aïn Boreq. Vue générale sur le parcellaire.*

Photo 152. *Aïn Boreq. Vue sur les parcelles, partie aval.*

Photo 153. *Aïn Boreq. Vue sur le parcellaire, partie amont.*

Photo 154. *Aïn Boreq. Panoramique sur le parcellaire, vu de la lanière de glacis sud.*

Photo 155. *Tell-Douch ouest. Parcellaire de décrue.*

Photo 156. *Tell-Douch sud. Parcellaire, digues de ceinture et levées intérieures.*

Photo 157. *Dikura. Parcellaire ensablé.*

Photo 158. *Tell-Douch. Parcellaire de plaine.*

Photo 159. *Aïn Manawir. Terroir avec des parcelles présentant des états de surface différents. Rotation des cultures.*

Photo 160. *Tell-Douch nord. Parcellaire géométrique sur reg caillouteux.*

Photo 161. *Tell-Douch. sud. Parcellaire géométrique sur couverture caillouteuse. Irrigation par condensations occultes (?).*

Photo 162. *Dikura. Vestiges d'un parcellaire irrigué par inondation.*

Photo 163. *Tell-Douch nord. Casier d'irrigation ensablé avec digues.*

Photo 164. *Tell-Douch nord. Parcellaire de plaine. Ralentisseur d'eau encroûté.*

Photo 165. *Tell-Douch. Parcellaire nord. Cabane sur tertre.*

Photo 166. *Tell-Douch sud. Parcellaires enclos de murs.*

Photo 167. *Tell-Douch sud. Parcellaire avec ses murs de clôture et ses rebuts de sol salé.*

Photo 168. *Tell-Douch sud. Parcellaires enclos ensablés.*

Photo 169. *Tell-Douch sud. Puits d'irrigation des parcellaires enclos. Ensablement épais.*

Photo 170. *Tell-Douch sud. Parcellaire antique de puits en cours d'ensablement.*

Photo 171. *Aïn Manawir est. Parcellaire en cours de recouvrement par une barkhane.*

Photo 172. *Tell-Douch. Parcelle sur nappe de cailloux en cours d'ensablement.*

Photo 173. *Aïn Manawir. Parcelles avec mur de clôture et parcelles sur limon gris.*

Photo 174. *Aïn Manawir. Fondation du mur de clôture.*

Photo 175. *Aïn Manawir. Mur de clôture, secteur aval, avec vanne de sortie.*

Photo 176. *Tell-Douch. Parcelles des vergers d'oasis du palier de limon gris.*

Photo 177. *Tell-Douch. Parcelles du verger d'oasis.*

Photo 178. *Tell-Douch. Parcelles irriguées.*

Photo 179. *Tell-Douch. Parcelles et rigoles d'irrigation.*

Photo 180. *Tell-Douch. Levée complantée entre parcelles.*

Photo 181. *Tell-Douch. Emplacement d'un palmier et rigole pour son irrigation.*

Photo 182. *Tell-Douch. Parcelles avec rigole d'irrigation et emplacement d'un palmier. Ensablement après balayage.*

Photo 183. *Tell-Douch. Surface de parcelle. Irrigation par inondation et dessiccation de surface arrosée.*

Photo 184. *Tell-Douch. Traces d'instrument à griffes lacérant la surface d'une parcelle.*

Photo 185. *Tell-Douch. Traces de pas dans le limon humide.*

Photo 186. *Tell-Douch. Traces de piétinement autour d'un arbre.*

Photo 187. *Tell-Douch. Macro-reste d'arbre, sans doute un olivier.*

Photo 188. *Aïn Manawir. Parcelles dont la terre arable a été vannée par le vent.*

Photo 189. *Tell-Douch. Piémont. Parcelles érodées et rigoles d'arrivée d'eau.*

Photo 190. *Tell-Douch. Couloir de déflation aménagé avec mur effondré.*

Photo 191. *Tell-Douch est. Dune installée sur un hydragogue et recouverte d'un dépotoir de céramiques.*

Photo 192. *Tell-Douch ouest. Mur recouvert par une butte profilée de limon gris.*

Photo 193. *Tell-Douch.* Qanat *avec regards et saignée recoupant des installations antérieures.*

Photo 194. *Tell-Douch. Couloir de déflation et recoupement par des rigoles des fondations d'un habitat.*

Photo 195. *Tell-Douch ouest. Sites des foyers de plein vent datés de l'Ancien Empire.*

Photo 196. *Tell-Douch ouest. Crête dans laquelle est fossilisé le niveau à cendres daté de l'Ancien Empire.*

Photo 197. *Tell-Douch ouest. Dans le sédiment d'un placage de limon gris, vestige d'un pot daté de l'Ancien Empire (détermination Pascale Ballet, IFAO).*

Photo 198. *Tell-Douch. Parcelle cultivée par billons dont subsistent les fonds indurés des rigoles.*

Photo 199. *Tell-Douch. Gourde trouvée dans la baraque nord.*

Photo 200. *Tell-Douch. Déflation à la surface d'un champ en jachère ; labourage à plat.*

Photo 201. *Oasis de Kharga. Paysage de petites oasis sur puits artésien. Sebkha, nebkas et ensablement.*

Photo 202. *Tell-Douch. Cabane du palier (phase démotique ?).*

Photo 203. *Ezbet Douch. Préparation d'une parcelle. Aplanissement par la planche à brancards (goraffa) et confection à la houe des digues de bordure.*

Photo 204. *Tell-Douch. Puits artésien aménagé en puits, puis en regard de* qanat.

Photo 205. *Tell-Douch. Face nord, secteur ouest. Barrage de ravine.*

Photo 206. *Tell-Douch. Déflation dans un couloir face nord. Mise en relief de vestiges et destruction d'un ancien parcellaire. Érosion actuelle.*

Photo 207. *Dikura. Ensablement de la cuve du puits fouillé deux ans auparavant.*

Photo 208. *Tell-Douch. Face nord, secteur est. Cuve ronde alimentée par* qanat.

Photo 209. *(en couleurs, couverture). Vue de la corniche du Naqb Douch sur la plaine de Douch et sur l'alignement des sites commandé par le linéament tectonique. Désert hyperaride et couloir d'écoulement éolien. Modelé de dissection hérité du Quaternaire.*

PLANCHES EN COULEURS

(traitement des données et composition des images par Marc Robin, IMAR, Université de Nantes)

Pl. I. *Classification des formes et formations superficielles. ÉGYPTE*
dépression de Kharga
secteur de Douch.

Pl. II. *Classification supervisée des formations superficielles de la plaine de Douch.*

Pl. III. *Les sites archéologiques potentiels.*

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 3

INTRODUCTION

Situation et site de Tell-Douch 5
Tell-Douch, ksar saharien 6
Sa campagne : des terroirs irrigués 9
Du paysage des terroirs au territoire historique 11

SOMMAIRE

Première Partie
Les facteurs structuraux à l'origine des réserves en eau 15
Deuxième Partie
Les données géomorphologiques, la terre arable,
les nappes phréatiques et leurs affleurements 15
Troisième Partie
Le paysage humanisé de Tell-Douch et la maîtrise de l'eau 16
Conclusion
La toparchie de Kysis 17

PREMIÈRE PARTIE
LES FACTEURS STRUCTURAUX À L'ORIGINE DES RÉSERVES D'EAU

1.1 Les caractéristiques morphostructurales du paysage 19
1.2 Les formations lithologiques à Douch et ses environs 21
1.3 Les faciès de l'embayment 25
1.3.1 *L'embayment* 25
1.3.2 *Les collines* 26
1.3.3 *Le soubassement sédimentaire de l'embayment* 27
1.3.4 *Le système des grès de Nubie. Son rôle hydrogéologique* 28
1.4 Les faciès du plateau 28
1.4.1 *Le talus inférieur* 28
1.4.2 *La corniche inférieure* 29
1.4.3 *L'entablement supérieur* 29
1.4.4 *Le rôle hydrogéologique des faciès du plateau* 30

1.5 Les accidents tectoniques et la localisation des nappes phréatiques 30
1.6 Les grandes cassures de surface 33
1.6.1 *Le linéament décrochant de Wadi al-Abd* 33
1.6.2 *Le linéament guinéo-nubien* 38
1.7 Les déformations du socle 40
1.8 Le relief morphostructural à l'origine des sites d'occupation du secteur de Douch 43
1.8.1 *L'abrupt double du Naqb Douch* 43
1.8.2 *Les conditions d'apparition du plateau et de la dépression* 43
1.8.3 *Les collines dissymétriques de l'embayment* 44
1.8.4 *Blocs soulevés devenus inselberg* 45
1.9 Le réservoir hydrologique de Baris 46

DEUXIÈME PARTIE

LES DONNÉES GÉOMORPHOLOGIQUES, LA TERRE ARABLE, LES NAPPES PHRÉATIQUES ET LEURS AFFLEUREMENTS

2.1 Le modelé 57
2.2 La géomorphologie du secteur de Douch 62
2.3 Le paysage du modelé éolien. Formes et formations 62
2.4 Les formes d'érosion 62
2.4.1 *Le déchaussement des plantes et leur ensablement* 64
2.4.2 *Le pavage éolien des nappes détritiques* 65
2.4.3 *La corrasion éolienne* 65
2.4.4 *Les cuvettes de déflation* 68
2.5 Les formes dunaires 69
2.5.1 *Les accumulations d'obstacle* 70
2.5.2 *Les dunes vives (avec la collaboration de Marc Robin)* 72
2.6 La dynamique éolienne présente et passé 75
2.6.1 *Les témoignages antérieurs* 75
2.6.2 *La mobilité actuelle des sables (avec la collaboration de Marc Robin)* 76
2.7 Le piémont et son modelé de dissection 85
2.8 Les conditions à l'origine de la dissection du relief 86
2.9 L'inertie morphologique actuelle des fronts à corniche et à talus 87
2.10 L'inefficacité du ruissellement 88
2.11 Les pentes en roche tendre et leur piémont détritique 89
2.11.1 *Les différents dépôts détritiques de pente et de piémont* 90
2.11.2 *L'évolution morphologique du versant* 92
2.12 Les systèmes morphogéniques à l'origine de l'évolution des pentes 95
2.13 La plaine de Douch et son modelé 96
2.13.1 *Transformation morphogénique de la plaine de Douch* 96

2.14 Les croûtes 99
2.15 Les buttes profilées 101
2.15.1 *Les différents types de buttes profilées* 102
2.15.2 *Les critères d'ordre génétique* 103
2.15.3 *Les critères d'ordre morphogénique* 106
2.15.4 *Les critères d'ordre sédimentologique* 107
2.15.5 *Les faciès* 109
– Les faciès fondamentaux 109
– Les faciès erratiques 111
– Les faciès d'évolution 116
– Interprétation du modelé des buttes profilées et de leurs faciès 121
2.16 Les systèmes morphogéniques à l'origine du modelé de la plaine de Douch 122
2.16.1 *Les nappes éoliennes, les limons des buttes profilées et des yardangs de déflation et de corrasion éoliennes* 122
2.16.2 *Les dépôts d'écoulement et de ruissellement* 124
2.16.3 *Les évolutions des dépôts in situ* 125
2.17 La répartition spatiale des formes et des formations superficielles (avec la collaboration de Marc Robin) 126
2.17.1 *Détermination* 126
2.17.2 *Classification* 132
2.17.3 *Répartition* 134
2.17.4 *Typologie* 135
2.17.5 *Inventaire* 139
2.18 Histoire du modelé 141
2.18.1 *Établissement d'une chronologie* 141
2.18.2 *Étapes de la mise en place* 144
2.19 Le paysage et sa valorisation 148
2.19.1 *La hamada* 148
2.19.2 *Le piémont* 148
2.19.3 *Les collines* 149
2.19.4 *La plaine* 149
2.19.5 *Les sites archéologiques potentiels* 150
2.20 La place de l'eau 152

TROISIÈME PARTIE
LE PAYSAGE HUMANISÉ DE LA RÉGION DE TELL-DOUCH ET LA MAÎTRISE DE L'EAU

3.1 Principes et méthodes appliqués à l'étude du paysage humanisé 157
3.2 Le système hydraulique 160
3.3 Les caractéristiques des installations hydrauliques 160
3.4 Les sources artésiennes naturelles 162

3.5 Les sources artésiennes aménagées pour l'usage domestique 166
3.6 Les équipements. Captage et drainage de l'eau 167
3.6.1 *Le puits circulaire pour l'irrigation des parcellaires* 167
3.7 Le captage-saignée 169
3.8 Le réservoir 169
3.9 La citerne escalier 170
3.10 Le *qanat*: galerie de drainage 172
3.10.1 *La galerie* 175
3.10.2 *Les regards* 175
3.10.3 *La tranchée* 177
3.10.4 *La fosse* 177
3.10.5 *La saignée* 179
3.11 La composition architectonique 179
3.11.1 *Seuil de Dikura* 179
3.11.2 *Tell-Douch* 186
3.11.3 *L'évolution morphologique des ouvrages* 192
3.12 Le puits-réservoir 194
3.13 Le puits-*qanat* 194
3.14 Les réseaux 195
3.14.1 *Aïn Boreq* 195
3.14.2 *Aïn Ziyada* 196
3.14.3 *Dikura* 198
3.14.4 *Tell-Douch* 200
3.14.5 *Aïn Manawir* 202
3.15 Le transport de l'eau et l'arrosage des parcelles 204
3.15.1 *Les hydragogues* 204
3.15.2 *Le débit des hydragogues* 205
3.16 L'irrigation du parcellaire 207
3.16.1 *Les rigoles et conduits des parcellaires* 207
3.16.2 *L'arrosage des parcelles* 207
3.16.3 *L'irrigation par canaris en terre poreuse* 208
3.17 L'irrigation des terroirs 209
3.17.1 *Les capacités théoriques* 210
– La durée de l'irrigation 212
– La consommation vraie 213
3.18 Les parcellaires 214
3.18.1 *Le parcellaire de pente* 214
3.18.2 *Le parcellaire d'oued* 214
– Description du parcellaire d'Aïn Boreq 215
– L'indice morphométrique 218
– L'indice de conformité 222
– La répartition des casiers à l'intérieur du parcellaire 225
3.18.3 *Le parcellaire de décrue* 229

3.18.4 *Le parcellaire de plaine* ... 229
3.18.5 *Le parcellaire verger d'oasis* ... 234
3.19 Un hydrofoncier diversifié ... 238
3.20 Les périodes d'utilisation du système hydraulique ... 241
3.21 Chronologie des phases d'aménagement des sites ... 245
3.21.1 *Ancien Empire* ... 245
3.21.2 *Époque perse* ... 247
3.21.3 *Époque gréco-romaine et byzantine* ... 247
3.22 L'éco-géographie des sites ... 248
3.23 Plantes et parcelles ... 249
3.24 Terroirs et agriculture ... 254
3.24.1 *Les arbres du terroir* ... 254
3.24.2 *L'eau du terroir* ... 256
3.24.3 *Le paysage du terroir* ... 257
3.25 Territoire et paysage ... 259
3.26 Le milieu éco-géographique et ses dangers ... 261
3.27 Les risques liés à l'irrigation ... 266
3.27.1 *Un système nécessaire* ... 267
3.27.2 *Un système défaillant* ... 268
3.27.3 *Le système de la circulation vadose* ... 270
3.27.4 *Le système des puits* ... 270
3.27.5 *Le système des* qanawat ... 271
3.27.6 *Du danger au risque* ... 271
3.28 Le système technique et son évolution ... 274
3.29 Le désert à la place des oasis ... 277

CONCLUSION

La Toparchie de Kysis

Milieu et durée ... 280
Bilan éco-géographique ... 281
Territoire et crise ... 282
Le Risque ... 283
Échelle et mobilité ... 289
Limites ... 290

GLOSSAIRE ... 293

BIBLIOGRAPHIE ... 301

PHOTOGRAPHIES ... 305

ANNEXE 347
Sites supervisés 348
Liste des figures 352
Liste des tableaux 354
Liste des photographies 355
Planches en couleurs 361

TABLE DES MATIÈRES 362

Ministère de l'Éducation nationale et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Paris.
Publication de l'Institut français d'archéologie orientale,
Dépôt légal : 4e trimestre 1996. Numéros d'éditeur et d'imprimeur 774 / 23[95]

DIFFUSION

Ventes directes et par correspondance

Au Caire :

- BOUSTANY'S PUBLISHING HOUSE — Fax : (20.2) 417 79 15
  29 rue Faggalah, 11271
  [P.O. Box 32 – Faggalah 11523] — Tél. : (20.2) 591 53 15
  Le Caire (R.A.E.) — 590 80 25
  e-mail : bph@ritsec3.com.eg
  http ://www.boustanys.com
- à l'IFAO, — Fax : (20.2) 354 46 35
  37 rue El-Cheikh Aly Youssef (Mounira) — Tél. : (20.2) 357 16 00
  [B.P. Qasr El-'Ayni n° 11562.]
  Le Caire (R.A.E.)
  Section Diffusion Vente → — Tél. : (20.2) 357 16 22

À Paris : à l'Imprimerie nationale — Fax : 1 40 58 30 64
1 40 58 32 64

- Par correspondance :
  Département administratif, commercial et financier (DACF)
  27 rue de la Convention, — Tél. : 1 40 58 31 05
  75732 Paris Cedex 15.
- Ventes directes et ventes libraires à la Librairie :
  2 rue Paul-Hervieu, Paris XVe.
  (Métro Javel - André-Citroën.) — Tél. : 1 40 58 32 75

IF 774 (*DFIFAO* 31)

ISSN 0768-2964
ISBN 2-7247-0180-1